



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

*VITOR HUGO DE JESUS ARAUJO SILVA*

**O USO DE DISSIPADORES TÉRMICOS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DA  
PLACA FOTOVOLTAICA.**

São Luís

2019

**VITOR HUGO DE JESUS ARAUJO SILVA**

**O USO DE DISSIPADORES TÉRMICOS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DA  
PLACA FOTOVOLTAICA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos Sousa Filho.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À  
VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA  
DEFENDIDA PELO ALUNO VITOR HUGO  
DE JESUS ARAUJO SILVA, E ORIENTADA  
PELO PROF. DR. LOURIVAL MATOS DE  
SOUSA FILHO.

---

ASSINATURA DO ORIENTADOR

São Luís

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**O USO DE DISSIPADORES TÉRMICOS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DA  
PLACA FOTOVOLTAICA.**

Autor: Vitor Hugo de Jesus Araujo Silva

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

A banca examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este TCC:

---

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

---

Prof. Mc. Valdirson Pereira Mendes

---

Prof. Mc. Paulino Cutrim Martins

A ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís, 04 de Julho de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus, por me dar forças para caminhar e superar meus obstáculos e por sempre estar ao meu lado para me guiar pelo melhor caminho.

Aos meus pais, Analice Pinheiro e Dedionor de Jesus por depositarem total confiança e sempre acreditar no meu potencial. Por serem exemplos de superação e persistência, por estarem ao meu lado em todos os momentos, querendo sempre o meu bem e o meu progresso na vida. Pela educação dada, pelos princípios morais, por serem respeitadores, humildes, insistentes e sonhadores.

A minha irmã Vanessa, que sempre me apoiou nas minhas decisões, me dando forças para que concretizasse meus objetivos.

A minha namorada Fernanda, minha família e amigos por acreditarem em mim, pela ajuda direta e indireta no meu processo de formação, no meu aprender e ensinar a como ser um bom cidadão.

A todos os meus amigos do curso de Engenharia Mecânica pela vivência em sala de aula, pela união, força e superação.

Ao meu professor e orientador Prof. Dr. Lourival Filho pela contribuição, empenho, dicas e conhecimento quem fizeram fortalecer os meus estudos.

## EPÍGRAFE

*“O homem não é nada além daquilo  
que a educação faz dele”*

*Immanuel Kant*

## RESUMO

O presente trabalho foi feito com a intenção de diminuir a temperatura de painéis solares. Tendo em vista o crescimento significativo a respeito da energia renovável, a proposta é baseada no aprofundamento dessa tecnologia para um melhor aproveitamento. A energia solar, junto também com as outras formas de energia renováveis como a energia eólica tem grande e fundamental papel para com o bem do planeta. À medida que se tem altos índices prejudiciais à saúde devido a recursos sendo explorados exageradamente, como os combustíveis fósseis, surge a necessidade de se investir em fontes como a energia solar. As placas fotovoltaicas são responsáveis em fazer a captação da radiação e transformá-las em energia elétrica. Essas placas por conta da intensidade da radiação que acabam recebendo, a mesma sofre um aquecimento que por sua vez quando muito intenso faz com que a placa sofra uma perda de eficiência na sua produção de energia elétrica. As superfícies estendidas (aletas) têm a função de aumentar a taxa de transferência de calor, fazendo assim com que a placa tenha um arrefecimento e não tenha uma perda significativa em sua eficiência. Para isso foi feita uma fixação de chapas de alumínio de perfis retangulares com colas dissipadoras de calor na placa fotovoltaica, apresentando uma característica de superfícies estendidas da própria placa.

**Palavra-chave:** Energia Solar; Temperatura; Dissipadores de calor.

## **ABSTRAT**

The present work was done with the intention of reducing the temperature of solar panels. In view of the significant growth in renewable energy, the proposal is based on the deepening of this technology for a better use. Solar energy, along with other forms of renewable energy such as wind energy has a great and fundamental role for the good of the planet. As we have high levels of harmful health due to resources being exploited exaggeratedly, such as fossil fuels, there is a need to invest in sources such as solar energy. Photovoltaic panels are responsible for capturing the radiation and transforming them into electrical energy. These plates due to the intensity of the radiation that they end up receiving, the same undergoes a heating that in turn when very intense causes that the plate undergoes a loss of efficiency in its production of electric energy. The extended surfaces (fins) have the function of increasing the rate of heat transfer, thus causing the plate to cool down and not have a significant loss in efficiency. For this purpose, aluminum plates of rectangular profiles with heat dissipating glues were fixed in the photovoltaic plate, presenting a characteristic of extended surfaces of the plate itself.

Keyword: Solar energy; Temperature; Heatsinks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Matriz elétrica brasileira (Adaptado ANEEL, 2019) .....	4
Figura 3.2 - Representação da irradiação do sol na terra. (Adaptado CRESESB, 2006) .....	5
Figura 3.3 - Ilustração da radiação difusa e direta. (Adaptado de Strom Brasil) .....	6
Figura 3.4 - Radiação direta, difusa e refletida. (Adaptado de Solar Inovare) .....	6
Figura 3.5 - Cristal de silício dopado tipo N e P. (Adaptado de Infoescola) .....	8
Figura 3.6 - Cristal de silício não-dopados. (Adaptado de PETRY).....	9
Figura 3.7 - Diagrama básico de controlador tipo série. (Adaptado de SERRÃO, 2010) .....	11
Figura 3.8 - Diagrama de básico de um controlador em paralelo. (Adaptado SERRÃO, 2010) .....	12
Figura 3.9 - Funcionamento de um controlador com MPP. (Adaptado SERRÃO, 2010) .....	12
Figura 3.10 - Formas de ondas típicas de inversores. (Adaptado de SERRÃO, 2010) .....	14
Figura 3.11 - Ilustração de um sistema de energia alimentado por um painel solar. (Adaptado de ANEEL) .....	14
Figura 3.12 - Stegosaurus. (Adaptado de Wikipédia, 2019).....	16
Figura 3.13 - Radiador automotivo e dissipadores de calor. (Adaptado de IndustriaHoje) .....	17
Figura 3.14 - Elemento de volume de aleta na posição $x$ , tendo comprimento $\Delta x$ , área transversal $A_c$ e perímetro $p$ . (Adaptado de ÇENGEL, 2012) .....	17
Figura 3.15 - Superfície com aleta. (Adaptado de ÇENGEL, 2012) .....	19
Figura 3.16 - Eficiência de aletas planas. (Adaptado de INCROPERA, 2008).....	21
Figura 3.17 - Conjunto de aletas retangulares. (Adaptado de INCROPERA, 2008)..	22
Figura 3.18 - Queda gradual de temperatura ao longo da aleta. (Adaptado de ÇENGEL, 2012) .....	23
Figura 4.1 - Painel Solar.....	25
Figura 4.2 - Controlador de carga. ....	26
Figura 4.3 - Inversor de tensão 12V para 110V.....	26
Figura 4.4 - Bateria estacionária 12 V. ....	27
Figura 4.5 - Chapa de alumínio.....	27
Figura 4.6 - Barras chatas de alumínio cortadas.....	28
Figura 4.7 - Cola pasta adesiva dissipadora de calor.....	30
Figura 4.8 - Cantoneiras para ajudar na sustentação das barras.....	30
Figura 4.9 - Dissipadores instalados na placa fotovoltaica.....	31
Figura 4.10 – Ilustração dos termopares na parte superior da placa. ....	31
Figura 4.11 – Ilustração dos termopares na parte inferior da placa.....	32
Figura 4.12 - Equipamento de leitura das temperaturas. ....	32
Figura 5.1 - Temperaturas da placa fotovoltaica.....	33
Figura 5.2 - Temperatura média da placa nas posições estabelecidas. ....	34

Figura 5.3 - Temperatura da placa do dia 26 de Junho. ....	34
Figura 5.4 - Temperatura da placa do dia 14 de Junho. ....	35
Figura 5.5 - Temperatura com inclinações da placa as 10h. ....	37
Figura 5.6 - Temperatura com inclinações da placa as 12h. ....	38
Figura 7.1 - Vista ilustrativa em 3D do dissipador compacto.....	40
Figura 7.2 – Vista ilustrativa inferior do dissipador compacto.....	40

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL – Agência Nacional De Energia Elétrica

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

CCT – Centro de Ciências Tecnológicas

MSILAB – Laboratório de modelagem e simulação.

MPP – Ponto de Máxima Potência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

CC – Corrente contínua

CA – Corrente Alternada

AM – Massa de Ar

W – Potência hora. [KWh]

Temp - Termopar

Si – Silício

B – Boro

P – Fósforo

$\dot{Q}_{conv}$  – Taxa de Transferência de Calor por convecção. [W/m<sup>2</sup>]

$\dot{Q}_{cond}$  - Taxa de Transferência de Calor por condução. [W/m]

$h$  - Coeficiente de transferência de calor por convecção. [W/m<sup>2</sup>K]

$A_s$  – Área da superfície. [m<sup>2</sup>]

$T_s$  - Temperatura na superfície. [°C]

$T_\infty$  - Temperatura no meio. [°C]

$p$  – Perímetro. [m]

$k$  - Condutividade térmica. [W/mK]

$A_c$  – Área transversal. [m<sup>2</sup>]

$t$  – Espessura. [mm]

$L$  – Comprimento. [mm]

$L_c$  – Comprimento corrigido. [mm]

$T_b$  – Temperatura na base. [°C]

$A_b$  - Área da base. [m<sup>2</sup>]

T2 – Temperatura no Termopar 2.

T3 - Temperatura no Termopar 3.

T4 - Temperatura no Termopar 4.

T5 - Temperatura no Termopar 5.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Comparação entre alguns tipos de células fotovoltaicas. (Adaptado de MATTOS, 2016).....	10
Tabela 3.2 - Variação da transferência de calor a partir da aleta. (Adaptado ÇENGEL, 2012) .....	24
Tabela 4.1 - Especificações da placa fotovoltaica. ....	25
Tabela 4.2 - Dimensões das aletas. ....	28
Tabela 4.3 - Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção. (Adaptado ÇENGEL, 2012).....	29
Tabela 4.4 - Valores típicos da condutividade térmica para o alumínio. (Adaptado de ÇENGEL, 2012) .....	29
Tabela 5.1 - Dados de estação do dia 26. (Adaptado de INMET) .....	36
Tabela 5.2 - Dados de estação do dia 14. (Adaptado de INMET) .....	36

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	v
EPÍGRAFE .....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRAT .....	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xvii
LISTA DE TABELAS .....	xviii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específico .....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA .....	4
3.1 Energia Solar .....	4
3.2 Radiação Solar .....	5
3.2.1 Radiação direta, difusa e devido ao albedo.....	5
3.3 Energia Fotovoltaica .....	7
3.3.1 Efeito fotovoltaico .....	7
3.3.2 Células fotovoltaicas.....	9
3.3.3 Componentes e funcionamento dos painéis fotovoltaicos.....	10
3.4 Superfícies Estendidas (Aletas).....	15
3.4.1 Equação da Aleta.....	17
3.4.2 Eficiência e eficácia da Aleta .....	19
3.4.3 Eficiência Global da Superfície.....	21
3.4.4 Comprimento adequado da aleta.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25

4.1	Componentes do experimento .....	25
4.2	Montagem dos dissipadores de calor .....	27
4.3	Coleta dos dados .....	31
5	RESULTADO E DISCUSSÃO .....	33
6	CONCLUSÃO .....	39
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
8	REFERÊNCIAS.....	41

# 1 INTRODUÇÃO

Tendo como a premissa que os combustíveis fósseis são fontes esgotáveis de energia, e a mesma é utilizada em grande escala diminuindo assim sua vida útil no planeta, a busca de novas tecnologias que implementam os recursos para a energia limpa no mundo está sendo bastante cogitadas.

Desde 2012 a respeito da energia solar segundo a ANNEL, a potência instalada vem evoluindo, tendo um forte crescimento em 2016. Com relação ao ano de 2015 obteve um aumento de 407%. Essa expansão seu deu principalmente nas residências por estarem aderindo esse novo conceito. Cerca de 80% dessas residências já possuem essa fonte de energia e para 2024 poderá ter uma potência instalada de 3,2 GW.

Os painéis fotovoltaicos, quanto sua eficiência, está voltada para algumas particularidades que contribuem e interferem em suas instalações e aplicações, como o projeto de construção, normalmente mais caros. Outros fatores como a temperatura da célula, a irradiação solar e a massa de ar também tem grande influência no rendimento dos painéis.

A eficiência com relação à temperatura do painel para se ter um melhor rendimento deve estar a uma temperatura estabelecida pelo fabricante, mas para que isso ocorra tem que haver algum mecanismo que arrefeça a mesma, pois dependendo da exposição ao sol a temperatura pode aumentar e assim perdendo sua potência, conseqüentemente a sua eficiência decrescerá. Sistema de arrefecimento são implementados nas placas para contornar essa deficiência e assim ter um melhoramento de acordo com cada instalação.

A transferência de calor por superfícies estendidas, denominadas aletas, é uma alternativa para o arrefecimento dos painéis. Obedecendo a Lei de Resfriamento de Newton, têm-se duas formas de aumentar a taxa de transferência de calor: aumenta o coeficiente de convecção (h) ou aumentar a área da superfície, isso a partir de temperaturas fixas. Segundo ÇENGEL (p.163, 2012), aumentar h pode exigir instalação de uma bomba ou ventilador ou a substituição do equipamento existente por um de maior dimensão, mas essa abordagem pode não ser prática. As aletas são feitas de matérias altamente condutores e as mesmas aumentam a

transferência de calor a partir das superfícies, com uma maior radiação e convecção através das superfícies expostas.

Para analisar esses aspectos na eficiência dos painéis também será considerada a eficiência da própria aleta, baseando-se nas suas dimensões e materiais utilizados. Sua eficácia, de acordo com ÇENGEL (p. 172, 2012), não existe nenhuma garantia de que a inclusão das aletas na superfície aumentará a transferência de calor. O desempenho das aletas é avaliado com base no rendimento da transferência de calor em relação ao caso sem aleta.

Existem parâmetros fundamentais para obter uma efetividade maior em um aleta, como o material selecionado. Muitos materiais apresentam condutividade térmica excelente, como o cobre, porém o alumínio se sobressai por apresentar características mais em conta. Segundo INCROPERA (p.90, 2008), no entanto, embora o cobre seja superior no ponto de vista da condutividade térmica, as ligas de alumínio são a opção mais comum, devido aos benefícios adicionais relacionados aos menores custo e peso.

Quanto maior for o comprimento da aleta maior será a taxa de transferência de calor a partir dela, devido a maior área de transferência de calor. Contudo, quando se tem uma aleta maior para se ter uma taxa de transferência maior existe um obstáculo, pois quando maior a aleta, maior será sua massa, maior seu preço e maior o atrito com o fluido de transferência de calor. Portanto, aumentar o comprimento da aleta em quaisquer valores, pode se tornar um método inviável dependendo do custo da instalação e aquisição da aleta, ou seja, se os benefícios forem menores que o custo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Analisar a temperatura de um painel fotovoltaico com uso de dissipadores de calor.

### 2.2 Específico

- Estudar os equipamentos e componentes da placa fotovoltaica.
- Estudar os parâmetros das superfícies estendidas com perfis retangulares.
- Estudar o acoplamento das aletas na placa fotovoltaica minimizando a resistência térmica.
- Realizar a instalação das aletas na placa fotovoltaica.
- Realizar coletas de dados das temperaturas das placas fotovoltaicas com as superfícies estendidas.
- Analisar e Comparar as temperaturas da placa com e sem as superfícies estendidas.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Energia Solar

A energia solar se obtém através da luz e calor do sol. Dentre outras formas de energia a energia solar ainda é pouco explorada devido algumas de suas desvantagens quando comparada com outras fontes de energias. Na figura 3.1, podemos perceber o percentual das principais formas de energias renováveis e não renováveis no Brasil.

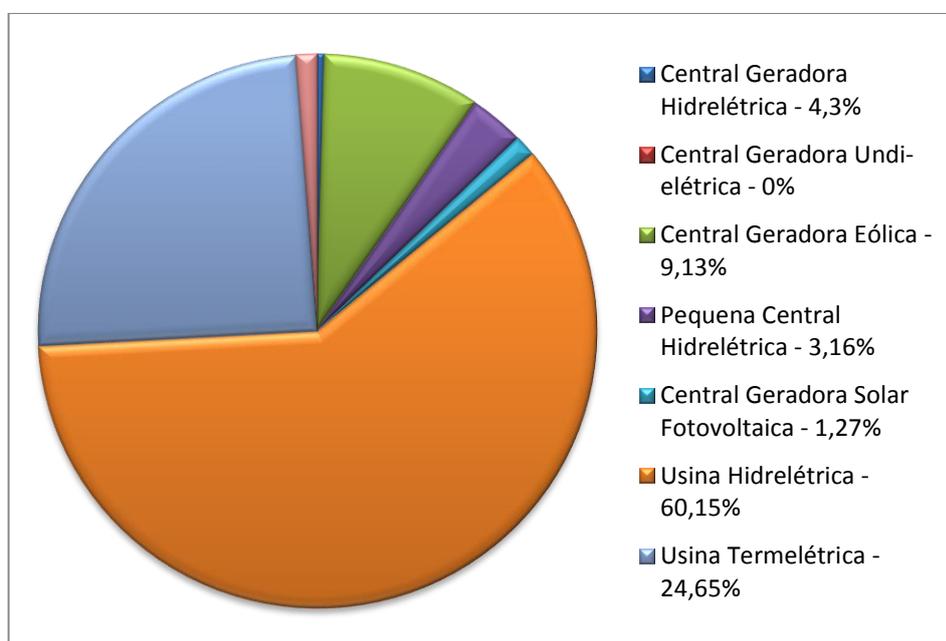


Figura 3.1 - Matriz elétrica brasileira (Adaptado ANEEL, 2019)

Com relação a recepção direta da energia solar, a mesma pode ser realizada de duas formas: ativa ou passiva. Na ativa tem-se a solar térmica, solar termelétrica e solar fotovoltaica. Na passiva tem-se a arquitetura bioclimática que consiste em harmonizar as construções ao clima, vegetação e hábitos de consumo regionais levando há uma melhor utilização dos recursos vegetais. (CEMIG. 2012)

O fornecimento anual de energia pela radiação solar, para a superfície terrestre, é de  $1,5 \times 10^{18}$  KWh (CRESESB, 2006). Considerando que do total de energia produzida pelo Sol, a Terra recebe uma pequena fração, essa suficientemente para a vida no planeta.

### 3.2 Radiação Solar

A Terra não absorve toda irradiação que lançada pelo sol. Para se ter ideia o sol irradia por um segundo tudo que a humanidade até hoje já absorveu. Isso se dá pelo fato de existir obstáculos que atrapalham a irradiação direta pelo sol.

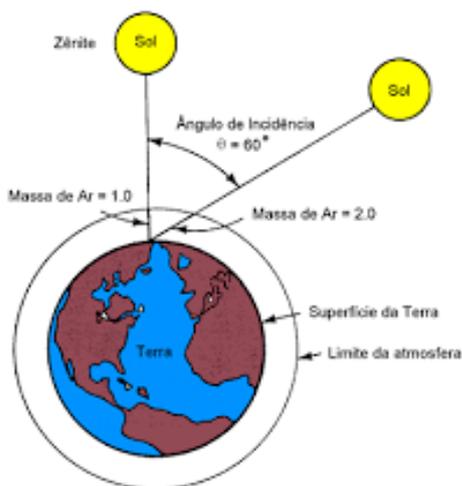


Figura 3.2 - Representação da irradiação do sol na terra. (Adaptado CRESESB, 2006)

Pode-se notar que quanto maior for a distância do sol para um ponto específico, menos se tem a intensidade da irradiação sobre a superfície da Terra. A massa de ar (AM) é maior, por isso há uma dificuldade da penetração na atmosfera.

#### 3.2.1 Radiação direta, difusa e devido ao albedo

A radiação solar divide-se em radiação direta, radiação difusa e radiação devido ao albedo.

De acordo com ALVES (p.30, 2016), a radiação parcial que incide sobre a superfície terrestre sem que haja interferência, ou seja, sem que exista algum obstáculo que atrapalhe trajetória, denominada radiação direta.



Figura 3.3 - Ilustração da radiação difusa e direta. (Adaptado de Strom Brasil<sup>1</sup>)

Como na Figura 3.3, a radiação difusa diferente da direta se caracteriza por ter interferências em alguns obstáculos como as nuvens e outros antes de chegar a superfície, chegando assim em diversas direções.

A radiação devido ao albedo (radiação refletida) como mostra a figura 3.4, é representada pela incidência da radiação na superfície terrestre e refletida para a superfície receptora. Considerando que a superfície receptora esteja inclinada.

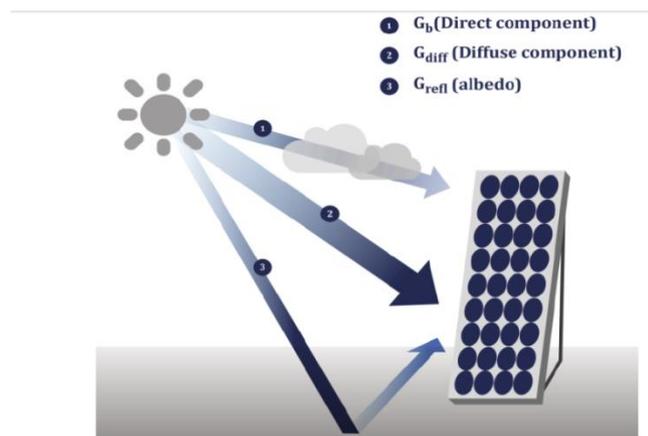


Figura 3.4 - Radiação direta, difusa e refletida. (Adaptado de Solar Inovare<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> Disponível em:<<http://www.strombrasil.com.br/energia-solar-e-radiacao-solar/>>

<sup>2</sup> Disponível em:< <https://solarinovare.wordpress.com/2016/01/04/110/>>

### 3.3 Energia Fotovoltaica

Dentre todas as formas de energia renovável, o sol é uma das mais abundantes que se tem como recurso para ser explorado. Para se ter ideia o mundo utiliza apenas uma fração da energia solar, isso devido ao seu custo e rendimento ainda não ser o mais acessível para a população.

PINTO (p.15, 2015) diz que, a energia solar tem um caráter seguro, limpo, renovável e autônomo. É seguro porque não utiliza meios que ponham em perigo a vida, limpo porque não gera resíduos no seu processo, renovável porque a sua fonte de matéria-prima é o sol e autônomo porque permite uma utilização independente pois pode ser usada individualmente ou em comunidade.

O físico francês Alexander Becquerel descobriu em 1839 como se obter a conversão da energia solar para energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

#### 3.3.1 Efeito fotovoltaico

*O feito fotoelétrico está associado ao efeito fotovoltaico* descrevendo-se assim como um fenômeno físico e químico tendo a célula fotovoltaica à função de converter a luz em eletricidade. Contudo o efeito fotovoltaico se dá em materiais semicondutores, no qual o Silício (Si) é mais utilizado nesse tipo de sistema, pois o mesmo possui quatro ligações covalentes podendo ocorrer diversas ligações com outros elementos formando uma estrutura cristalina.

##### 3.3.1.1 Materiais semicondutores

De acordo com MATTOS (p.20, 2016), os materiais semicondutores são divididos em dopados e não-dopados. Os semicondutores dopados são aqueles que recebem outros elementos químicos em sua estrutura para que o cristal se comporte de uma maneira diferente quando comparados àqueles não-dopados.

As impurezas mais usadas são do tipo N e P. A do tipo n ocorre com a adição de fósforo ou arsênio ao silício. Esses dois elementos possuem cinco elétrons na sua camada de valência. Como o silício também possui quatro camadas de valência os elétrons desses elementos formam ligações covalente ficando um livre, esse livre chamado de elétron livre, o mesmo ganha movimento, assim gerando eletricidade. O nome N vem da carga negativa gerada por ele.

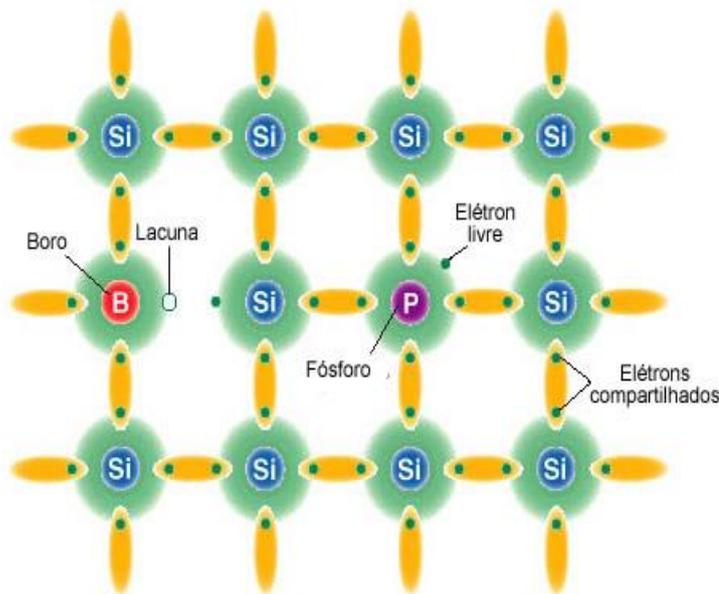


Figura 3.5 - Cristal de silício dopado tipo N e P. (Adaptado de Infoescola<sup>3</sup>)

A impureza do tipo P se dá por conta da adição do Boro ou Gálio ao silício. Esses elementos possuem três elétrons na sua camada de valência. O silício forma apenas três ligações covalentes, sendo assim falta uma ligação que sobra do silício criando lacunas que por sua vez conduzem corrente e essa ausência de um elétron gera uma carga positiva, denominada P.

Os semicondutores não-dopados são aqueles cujos cristais são formados apenas por um elemento químico.

MATTOS (p.19, 2016) fala que, neste caso, esse tipo de material se comporta como um excelente isolante elétrico a baixas temperaturas próximas do zero absoluto, já que assim, os orbitais eletrônicos dos átomos estão sempre completos.

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>>

Em temperaturas maiores, os elétrons da banda de valência do átomo possuem mais energia para transitarem à banda de condução.

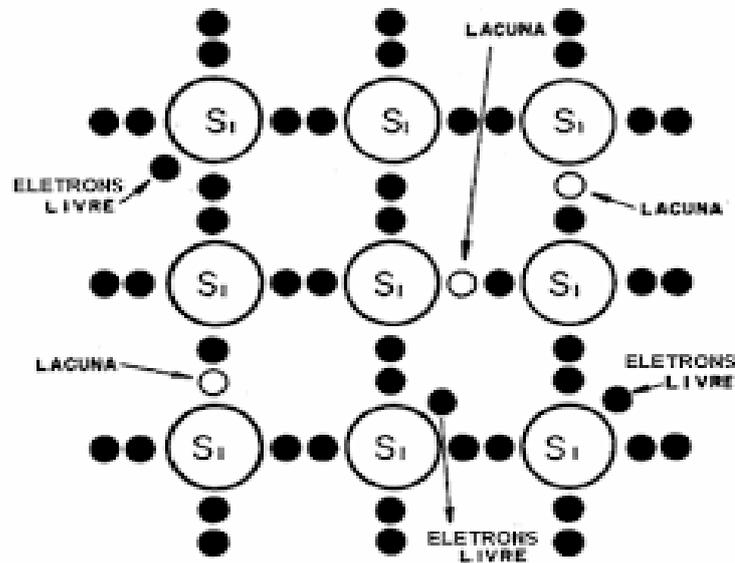


Figura 3.6 - Cristal de silício não-dopados. (Adaptado de PETRY<sup>4</sup>)

### 3.3.2 Células fotovoltaicas

Como já se sabe as células fotovoltaicas tem a função de converter a luz emitida pelo sol em energia elétrica. Hoje existem diferentes tipos de células fotovoltaicas, sendo as mais comuns utilizadas são as de silício mono e policristalinos e as de filmes finos. Podemos já destacar que as de silício monocristalinos são as quem tem mais eficiência comparada com as que são produzidas em quantidade e disponíveis no mercado. Entretanto, tem um custo de produção mais alto, porém sua eficiência pode chegar a 18%.

Na Tabela 3.1 podemos ver a comparação entre diversos tipos de material e suas eficiências.

<sup>4</sup> Disponível em: <[http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_UFSC/Materiais\\_EEL\\_7051/](http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_UFSC/Materiais_EEL_7051/)>

Tabela 3.1 - Comparação entre alguns tipos de células fotovoltaicas. (Adaptado de MATTOS, 2016)

MATERIAL	EFICIÊNCIA EM LABORATÓRIO	EFICIÊNCIA DA CÉLULA COMERCIAL	EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS COMERCIAIS
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micro-morfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%

O silício policristalino como é formado por vários cristais e é também usado em algumas células solares, possuindo um menor custo de produção. Seu rendimento pode alcançar de 13% a 15%, podendo assim haver uma viabilidade devido a seu custo de produção relativamente baixo.

MATTOS (p.22, 2016) afirma que, O silício cristalino de filme fino é o mais usado recentemente devido ao seu baixo custo com relação aos materiais acima, isso se dá por que não há tanto desperdício na sua fabricação e um baixo consumo de energia. Uma vantagem desse tipo de célula é que elas aproveitam melhor a radiação quando esta é pouca ou quando é do tipo difusa (a que não incide diretamente no alvo). Além disso, a temperatura não influencia tanto no rendimento quanto nas outras tecnologias.

### 3.3.3 Componentes e funcionamento dos painéis fotovoltaicos

O sistema mais utilizado para geração de energia através de placas fotovoltaicas em residências é constituído de vários componentes, entre eles os principais são o controlador de carga, a bateria e o inversor.

### 3.3.3.1 Controladores de carga

É um mecanismo que controla a tensão que é aplicada no banco de baterias, não permitindo que os painéis haja circulação de correntes. O carregamento de bancos de baterias é necessário que a tensão seja superior à tensão da bateria, pois o contrário fará com que a bateria envie energia para o sistema. Entretanto, essa tensão não deve ser superior há um determinado limite, pois, cargas bastante elevadas podem comprometer o bom funcionamento. SERRÃO (p.15, 2010) ainda diz que, também é importante monitorar para que as descargas muito profundas não ocorram, pois, dependendo da intensidade, podem causar danos irreversíveis às baterias.

Os controladores de carga utilizam diodos para proteger possível circulação de corrente inversa, possuem também chaves para desligar caso a carga chegue há um limite mínimo inviável. Para casos em que há sobre cargas existe três diferentes formas de proteger as baterias: desligando os geradores, curto-circuitando os painéis fotovoltaicos e através de mecanismo MPP.

O controlador tipo série é o mais simples dos controladores, existe uma chave logo após o painel para desconectar quando as baterias estiverem completamente carregadas.

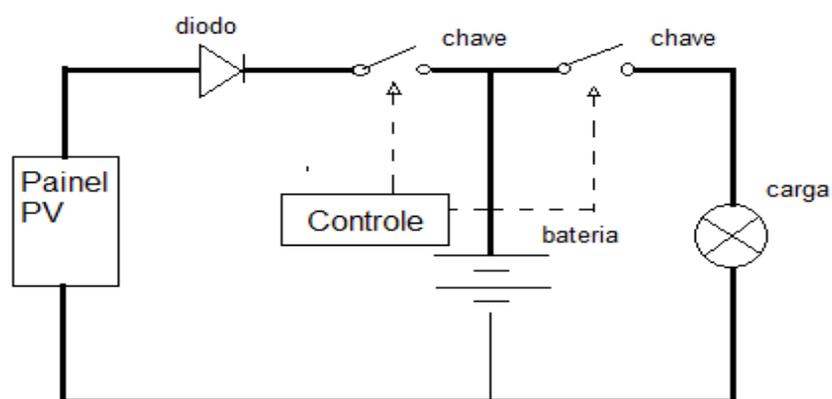


Figura 3.7 - Diagrama básico de controlador tipo série. (Adaptado de SERRÃO, 2010)

Os comuns utilizados, os controladores tipo paralelo possui um mecanismo quando sua a tensão da bateria estiver no seu máximo os painéis são curto-circuitados devido a uma chave que há na entrada dos geradores fotovoltaicos.

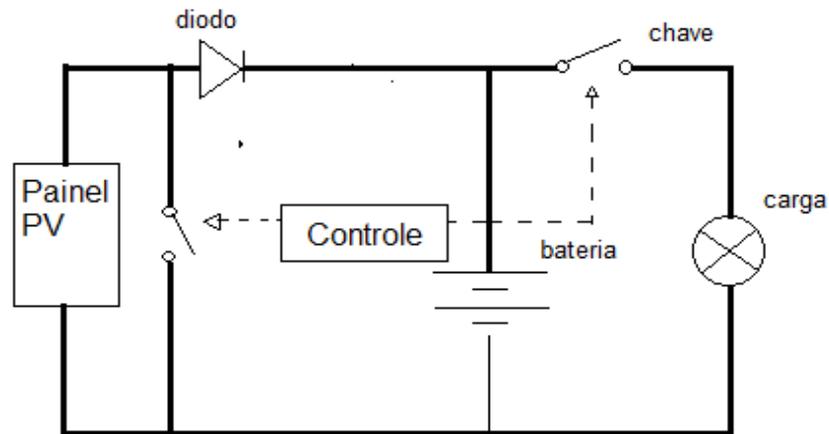


Figura 3.8 - Diagrama de básico de um controlador em paralelo. (Adaptado SERRÃO, 2010)

De acordo com SERRÃO (p. 16, 2010), os controladores com o sistema de rastreo MPP são bem mais caros, pois são mais complexos. Na figura mostra que nesse sistema o conversor CC-CC é instalado na saída dos painéis fotovoltaicos, é determinado um ponto de otimização através do sistema de rastreo, e tendo a saída do conversor adequado para a tensão na bateria.

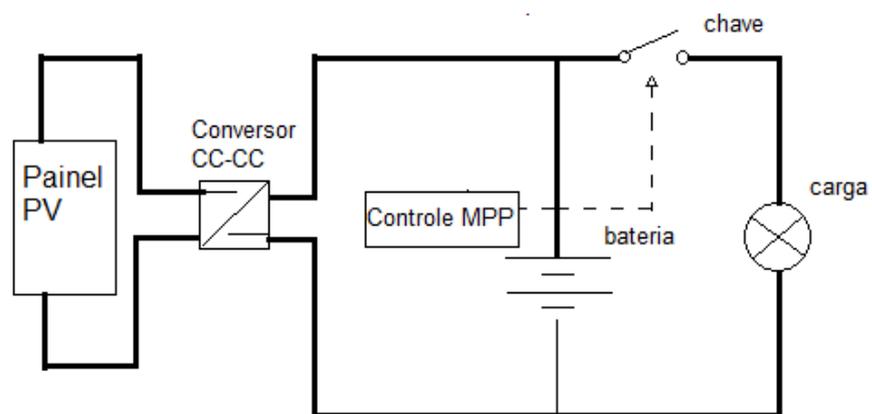


Figura 3.9 - Funcionamento de um controlador com MPP. (Adaptado SERRÃO, 2010)

### 3.3.3.2 Baterias

As baterias são utilizadas nesse tipo de sistema de geração de energia pois o consumo não se dá somente no momento da geração. Essas fontes atuam quando a energia gerada não for suficiente para atender a carga.

De acordo com SERRÃO (p.14. 2010), nos sistemas autônomos, as fontes convencionais não estão disponíveis, sendo assim necessário armazenar a energia para o uso posterior, podendo ser adotados sistemas de bombeamento d'água, hidrogênio, *fly-wheels*, entre diversas outras formas, porém a solução mais amplamente divulgada e adotada é o uso de baterias devido a sua boa relação preço-eficiência.

Em sistemas fotovoltaicos as baterias de chumbo ácido são as mais utilizadas e podem dividir-se em tipo: seladas, de gel e úmidas. As baterias úmidas são comumente utilizadas em automóveis, tendo seu custo mais baixo e sua corrente pode ter um fornecimento elevado em um curto período de tempo.

### 3.3.3.3 Inversores

Os inversores são equipamentos que convertem a energia elétrica em contínua para alternada. A maioria dos equipamentos elétricos que existem são alimentados por corrente alternada, que é compatível com a rede de energia elétrica que chega em nossas casas. Existem equipamentos que também são alimentados por corrente contínua, porém são equipamentos mais caros, uma produção limitada e mostram-se não tanto eficientes quando se comparada com a energia elétrica alternada.

De acordo com SERRÃO (p. 17, 2010) a energia elétrica em corrente alternada na forma em que é encontrada na energia elétrica assemelha-se muito a uma senoide, assim, a maioria dos aparelhos são projetados para receber uma alimentação ao menos próxima a essa forma de onda. No entanto, alguns equipamentos, especialmente os eletrônicos, possuem um retificador de onda, assim, seu desempenho não será muito afetado pela forma da onda de entrada.

Os inversores podem ser classificados em três tipos para a sua onda de saída: quadrada, retangular e senoidal. A figura 3.10 mostra os três tipos de onda e ainda se observa que a onda retangular está mais próxima da onda senoidal do que da onda quadrada, o que implica que essa onda retangular é a mais adequada para mais aplicações.

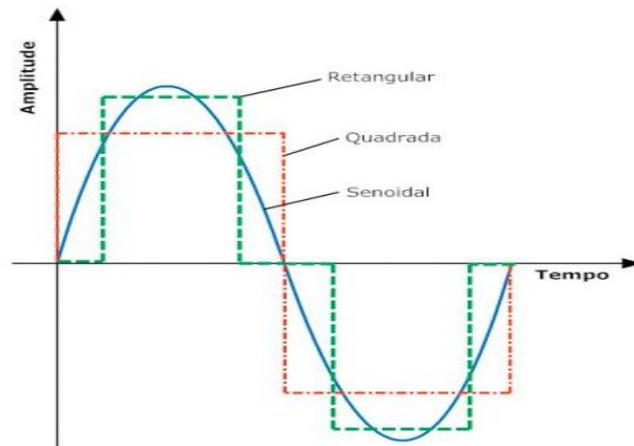


Figura 3.10 - Formas de ondas típicas de inversores. (Adaptado de SERRÃO, 2010)

Na Figura 3.11 mostra um sistema de energia elétrica alimentado por um painel solar. Esse sistema básico é mais utilizado por apresentar componentes básicos no funcionamento e geração de energia.

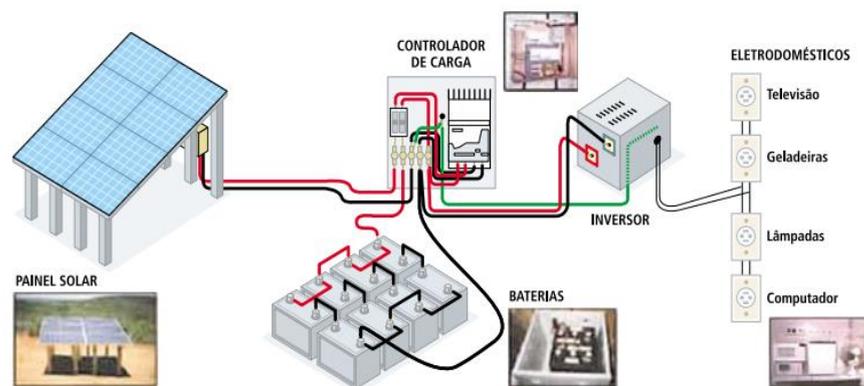


Figura 3.11 - Ilustração de um sistema de energia alimentado por um painel solar. (Adaptado de ANEEL)

### 3.4 Superfícies Estendidas (Aletas)

INCROPERA (p.84, 2008) fala que, o termo superfície estendida é comumente usado para descrever um caso especial importante envolvendo a transferência de calor por condução no interior de um sólido e a transferência de calor por convecção (e/ou radiação) nas fronteiras de um sólido.

A Lei de Resfriamento de Newton segundo ÇENÇEL (p.163, 2012), pode ser expressa pela taxa de transferência de calor a partir de uma superfície a dada temperatura  $T_s$  para um meio que a envolve  $T_\infty$  como

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3.1)$$

onde  $A_s$  é a área de transferência de calor e  $h$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção. Com as temperaturas acima da Lei de resfriamento fixas, pode-se aumentar a taxa de transferência de calor aumentando a área da superfície  $A_s$  ou aumentando o coeficiente de transferência de calor por convecção  $h$ .

Segundo ÇENÇEL (p.163, 2012), aumentar  $h$  pode exigir a instalação de uma bomba ou um ventilador ou a substituição de um equipamento existente por um de maior dimensão, mas essa abordagem pode não ser prática. Além disso, pode não ser suficiente.

O coeficiente de transferência de calor por convecção  $h$ , seu aumento se torna menos viável por existir algumas variáveis que implicam na sua funcionalidade e praticidade, pois a aplicação de alguns equipamentos ficará restrita um sobrepondo o outro.

ÇENÇEL, (p.163, 2012), ainda afirma que, uma alternativa seria aumentar a superfície, anexando superfícies estendidas chamadas de aletas, feitas de materiais altamente condutores, como o alumínio.

A funcionalidade das superfícies estendidas (aletas) como fonte de aumentar a taxa de transferência de calor já se tem referência desde a Era Jurássica, onde cientistas estudaram que certos dinossauros como o Stegosaurus.

Eles eram grandes herbívoros quadrúpedes com costas arredondadas, fortemente equipadas, tinham membros anteriores curtos, membros posteriores longos e tinham caudas erguidas no ar. A função desse conjunto de placas e pontas tem sido objeto de muita especulação entre os cientistas. Hoje, é geralmente aceito que suas caudas pontiagudas tenham sido mais provavelmente usadas para defesa contra predadores, enquanto que suas placas poderiam ter sido usadas principalmente para exibição, e secundariamente para funções termorreguladoras. (STEGOSAURUS, 2019)

Existiam vasos sanguíneos nessas placas e o ar que era o meio envolvente ao redor das mesmas esfriava o sangue possibilitando umas das aplicações mais aceitas sobre as placas no dorso desse animal.

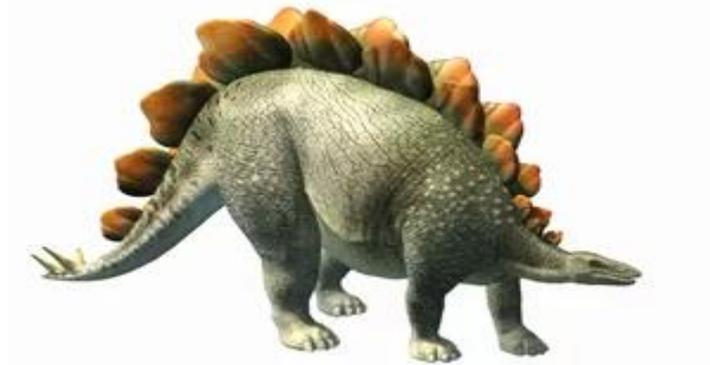


Figura 3.12 - Stegosaurus. (Adaptado de Wikipédia, 2019)

Existem outras aplicações sobre as aletas, como podemos dar exemplo do radiador de um carro. Esse equipamento constituído de várias folhas finas de metais fixadas nos tubos de água quente aumentando-se sua superfície de convecção, assim aumentando a taxa de transferência de calor com o ar. Existem também componentes eletrônicos como dissipadores de calor instalados nos mais diversos equipamentos eletrônicos existente hoje.

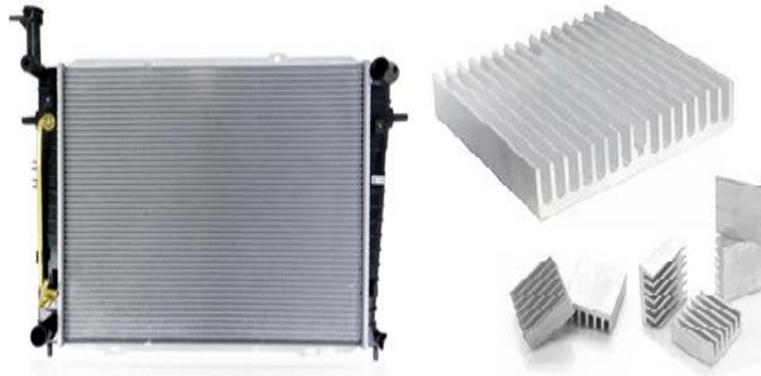


Figura 3.13 - Radiador automotivo e dissipadores de calor. (Adaptado de IndustriaHoje)

ÇENGEL (p.164 2012) ainda diz, em análise das aletas observa-se que ao acrescentar muitas aletas em uma superfície pode realmente diminuir a transferência de calor global quando a diminuição de  $h$  supera qualquer ganho resultante do aumento da área de superfície.

Isso se dá devido o coeficiente de transferência de calor por convecção  $h$  variar ao longo da aleta, seu valor em um ponto é muito mais intenso do que outro, mais precisamente pelo movimento do fluido. Na base da aleta o valor de  $h$  bastante inferior, pois ela é cercada de outras superfícies dificultando o movimento do fluido. Enquanto na ponta da aleta tem-se uma liberdade maior do fluido de movimentar, apresentando pouca resistência.

### 3.4.1 Equação da Aleta

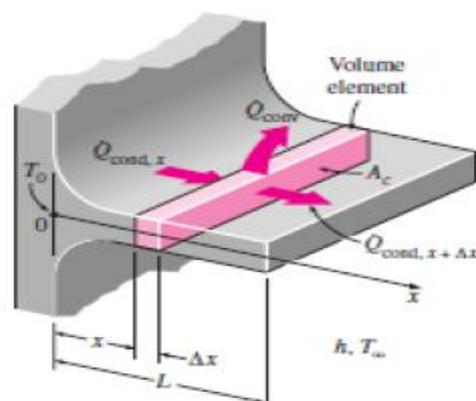


Figura 3.14 - Elemento de volume de aleta na posição  $x$ , tendo comprimento  $\Delta x$ , área transversal  $A_c$  e perímetro  $p$ . (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

A partir da figura 3.14 e sobre condições permanentes pode ser expressa o balanço de energia nesse elemento como,

$$\dot{Q}_{cond,x} = \dot{Q}_{cond,x+\Delta x} + \dot{Q}_{conv} \quad (3.2)$$

Onde

$$\dot{Q}_{conv} = h(p \Delta x) (T - T_{\infty}) \quad (3.3)$$

Substituindo e dividindo por  $\Delta x$ , obtemos

$$\frac{\dot{Q}_{cond,x+\Delta x} - \dot{Q}_{conv}}{\Delta x} + hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (3.4)$$

Tomando o limite quando  $\Delta x \rightarrow 0$ , tem-se

$$\frac{dQ_{cond,x}}{dx} + hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (3.5)$$

A partir da Lei de Fourier da condução de calor, temos

$$\dot{Q}_{cond} = -kA_c \frac{dT}{dx} \quad (3.6)$$

onde  $A_c$  é a área transversal da aleta na posição  $x$ . A substituição da presente relação na equação (3.6) resulta na equação diferencial de transferência de calor em aletas,

$$\frac{d}{dx} \left( kA_c \frac{dT}{dx} \right) - hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (3.7)$$

Em geral, a área transversal  $A_c$ , e o perímetro  $p$  de uma aleta variam com  $x$ , o que torna essa equação diferencial difícil de resolver. No caso específico de seção transversal constante e condutividade térmica constante, a equação diferencial reduz-se a

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hp}{kA_c}(T - T_\infty) = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad (3.8)$$

onde

$$m^2 = \frac{hp}{kA_c} \quad (3.9)$$

e  $\theta = T - T_\infty$  é o excesso de temperatura. Na base da aleta, temos  $\theta_b = T_b - T_\infty$ .

### 3.4.2 Eficiência e eficácia da Aleta

Com a aleta instalada transversalmente em uma superfície plana, sendo esse acoplamento em perfeito estado, a transferência de calor se dá por condução da superfície plana para a aleta e por convecção a partir da aleta para um meio circundante com mesmo coeficiente de transferência  $h$ . A temperatura da aleta em sua base tem uma diminuição progressiva até a sua ponta. Como também por convecção, a temperatura da superfície aleta diminui com relação a linha de centro na superfície externa.

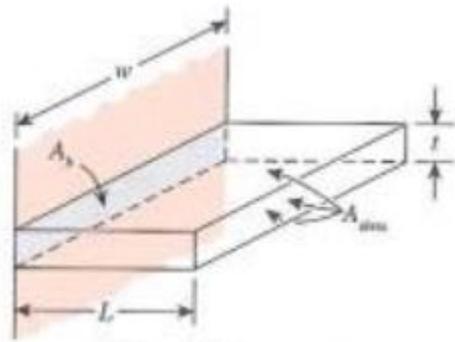


Figura 3.15 - Superfície com aleta. (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

ÇENGEL. (p. 169, 2012) afirma que, No entanto, as áreas transversais das aletas normalmente são muito pequenas, e, assim, a temperatura em qualquer seção transversal pode ser considerada uniforme. Além disso, a ponta da aleta, por conveniência e simplicidade pode ser considerada como adiabática.

Contudo, na realidade há diminuição da temperatura a ponta da aleta, tornando assim uma menor transferência de calor devido a diminuição da diferença de temperatura em direção à ponta da aleta, denominada por  $T(x) - T_b$ , onde  $T_b$  é a temperatura na base da aleta.

Tendo em vista esse efeito da diminuição da temperatura na transferência de calor define-se como *eficiência* da aleta como

$$\eta_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{aleta, max}} = \frac{\text{Taxa de transferência real a partir da aleta}}{\text{Taxa de transferência ideal a partir da aleta se a aleta inteira estiver na temperatura da base}} \quad (3.10)$$

Para aletas com perfis retangulares a sua eficiência se resume da seguinte forma.

$$\eta_{aleta} = \frac{\tanh m L_c}{m L_c} \quad (3.11)$$

$$m = \sqrt{2h/kt} \quad (3.12)$$

$$L_c = L + t/2 \quad (3.13)$$

Sabe-se que as aletas servem para aumentar a taxa de transferência de calor a partir de uma superfície. Portanto, deve-se notar que o comprimento de cada aleta em sua aplicação. Quanto maior for o comprimento da aleta, conseqüentemente maior será sua área e maior também será a taxa de transferência de calor a partir dela. Entretanto, tem-se um aumento proporcional em seu peso, preço e o atrito com

o fluido. Contudo, o melhor valor do seu comprimento tem que ser estabelecido para que haja uma justificativa em sua aplicação e benefício.

Como já visto o uso de aletas em superfícies só pode ser recomendada se o aumento da transferência de calor justificar o aumento do custo e utilização das respectivas aletas. Na verdade, não existe nenhuma garantia de que a inclusão das aletas na superfície aumentará a transferência de calor.

A efetividade da aleta é definida como

$$\varepsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{sem\ aleta}} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{hA_b(T_b - T_\infty)} \quad (3.14)$$

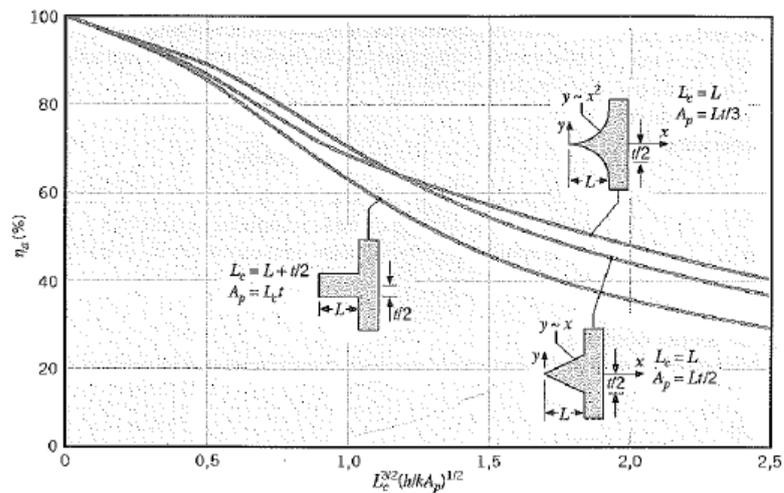


Figura 3.16 - Eficiência de aletas planas. (Adaptado de INCROPERA, 2008)

### 3.4.3 Eficiência Global da Superfície

A eficiência global da superfície se caracteriza como um conjunto de aletas e base na qual as aletas estão anexadas. Enquanto a eficiência das aletas se refere há apenas uma única aleta.

INCROPERA (p. 94. 2008), define a eficiência global como

$$\eta_o = \frac{q_t}{q_{max}} = \frac{q_t}{hA_t\theta_b} \quad (3.15)$$

onde  $q_t$  é a taxa de transferência de calor na área superficial  $A_t$ , associadas a área das aletas e a fração exposta da base.

A figura abaixo representa um conjunto de aletas anexadas em uma superfície.

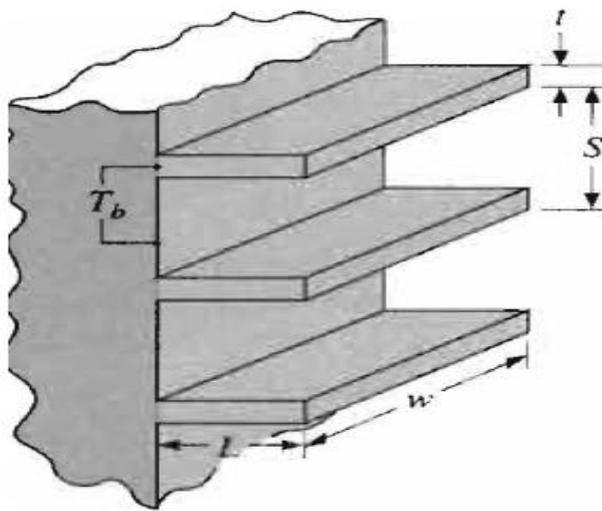


Figura 3.17 - Conjunto de aletas retangulares. (Adaptado de INCROPERA, 2008)

Onde S designa o espaçamento entre as aletas.

#### 3.4.4 Comprimento adequado da aleta

Já se sabe que o comprimento adequado da aleta é um fator preponderante para seu funcionamento. O fato de se ter uma aleta de maior comprimento, tendo por sua vez uma área maior, tem-se uma taxa de transferência de calor maior. Mas como já sabemos que há uma diminuição de temperatura de maneira exponencial ao longo da aleta.

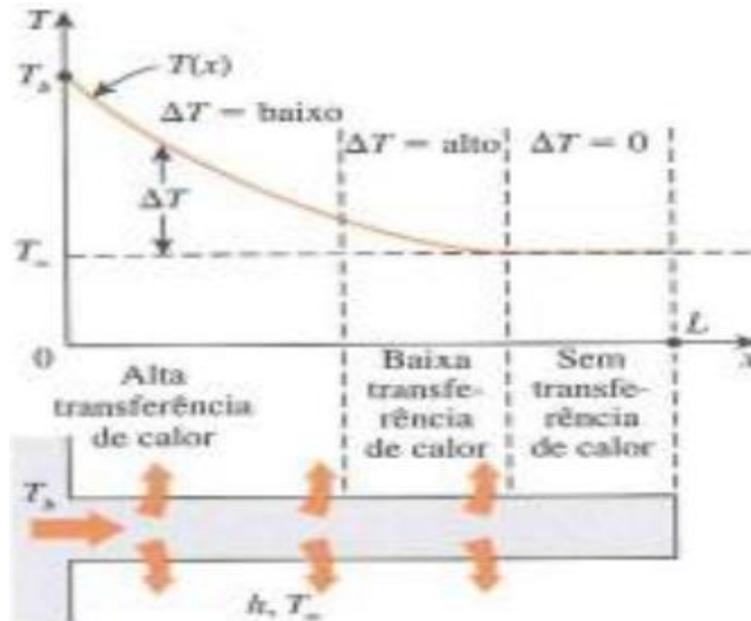


Figura 3.18 - Queda gradual de temperatura ao longo da aleta. (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

Como se pode ver na figura 3.18, até um certo comprimento da aleta já temos uma configuração com baixa transferência de calor, ou pode ser considerada como adiabática. Foi visto que quando se tem um maior comprimento e conseqüentemente maior área da superfície aleta, tem-se também um maior peso e custo proporcionalmente. Então, como não tem mais transferência de calor depois de certo limite, fica inviável, ou melhor, tem um desperdício de material cujo não tem função alguma, além de atrapalhar o atrito do fluido.

Para ter um comprimento adequado de cada aleta, a proporção entre a transferência de calor de uma aleta de comprimento finito com uma que de transferência de calor de comprimento infinito. Temos,

$$\frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{comprimento\ da\ aleta}} = \frac{\sqrt{hpkA_c}(T_b - T_\infty) \tanh mL}{\sqrt{hpkA_c}(T_b - T_\infty)} = \tanh mL \quad (3.16)$$

Tabela 3.2 - Variação da transferência de calor a partir da aleta. (Adaptado ÇENGEL, 2012)

<b>mL</b>	<b>tanh mL</b>
<b>0,1</b>	0,100
<b>0,2</b>	0,197
<b>0,5</b>	0,462
<b>1,0</b>	0,762
<b>1,5</b>	0,900
<b>3,0</b>	0,995
<b>4,0</b>	0,999
<b>5,0</b>	1,000

Observa-se que há uma próxima linearidade entre o aumento da transferência de calor da aleta com  $mL$ , a partir de certo ponto a curva atinge o valor de  $mL = 5$ , infinitamente comprida. Na prática, quando se tem um comprimento de aleta correspondente a  $mL = 1,5$ , representa que a aleta transferirá cerca 90% de calor que poderia ser transferido comparando com uma infinitamente comprida.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Componentes do experimento

Para o desenvolvimento do presente estudo de pesquisa foi necessário o painel solar fornecido pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA com objetivo de estudo para complementar as análises. A placa fica instalada em um cercado de 16 m<sup>2</sup> de área. Os dados da temperatura do painel sem os dissipadores de calor foram obtidos antes com os alunos do projeto de pesquisa da própria universidade.

Para o experimento com os dissipadores foi utilizada a placa Yingli Solar, modelo YL140P-17b. Teste de condição: AM 1.5, 25°C, 1000 W/m<sup>2</sup>.

As especificações do módulo estão na tabela 4.1.



Figura 4.1 - Painel Solar.

Tabela 4.1 - Especificações da placa fotovoltaica.

<b>POTÊNCIA NOMINAL</b>	140.0 W
<b>TENSÃO NOMINAL</b>	18.0 V
<b>CORRENTE NOMINAL</b>	7.77 A
<b>TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO</b>	22.3 V
<b>CORRENTE DE CURO CIRCUITO</b>	8.30 A
<b>TENSÃO MÁXIMA DO SISTEMA</b>	600 V

O controlador de carga é um aparelho que tem a função de controlar a carga que sai da placa fotovoltaica. Possui seis canais (positivos e negativos), sendo dois para o recebimento da tensão da placa, outros dois para a bateria e o restante para a alimentação de algum equipamento.



Figura 4.2 - Controlador de carga.

O inversor como já visto tem o papel de converter a CC (corrente contínua) que vem da bateria para CA (corrente alternada) que serviu para alimentar o computador. Ficando localizado embaixo da caixa onde ficam os outros equipamentos.



Figura 4.3 - Inversor de tensão 12V para 110V

A bateria de 12 V tem a função de receber a carga pelo controlador e alimentar os equipamentos conectados a ela. A CC da bateria passa pelo inversor que a transforma em CA, sendo assim servindo para carga do computador utilizado para aferir e coletar os dados.



Figura 4.4 - Bateria estacionária 12 V.

#### 4.2 Montagem dos dissipadores de calor

A análise para a obtenção de novos dados foi com a mesma placa fotovoltaica que foi feita análises das temperaturas sem a fixação de aletas com perfis retangulares. Esses perfis tiveram a finalidade de aumentar a taxa de transferência de calor devido à instalação de superfícies estendidas na parte de baixo dos painéis. Foram selecionados chapas lisas de alumínio para a caracterização dos perfis retangulares.



Figura 4.5 - Chapa de alumínio.

O dimensionamento da aleta se deu em virtude da área da placa e o suporte que a deixa suspensa. Sendo assim foram adotados os seguintes parâmetros.

Tabela 4.2 - Dimensões das aletas.

<b>Espessura (t)</b>	11 mm
<b>Comprimento (w)</b>	620 mm
<b>Altura (L)</b>	40 mm

Utilizou-se apenas a metade da placa para a aferição dos dados e como o suporte que sustenta a placa impedia colocar as duas barras chatas de alumínio inteira, então foi realizado um corte em umas das barras com medidas de 295 mm para o acoplamento.

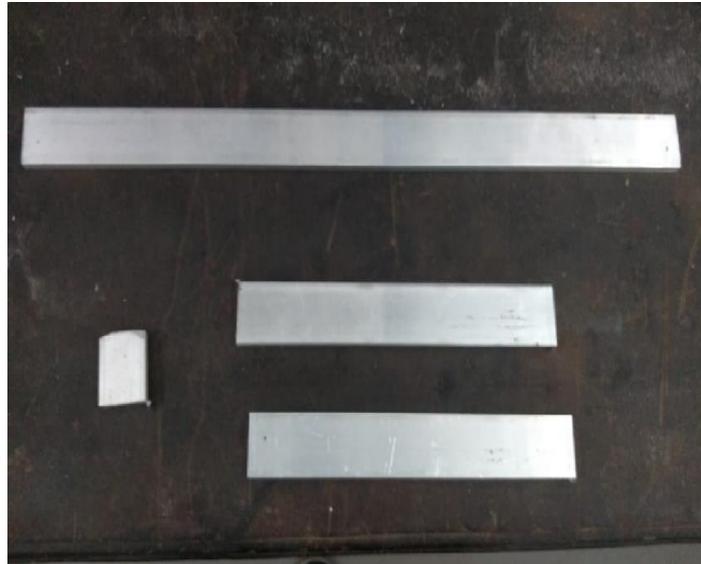


Figura 4.6 - Barras chatas de alumínio cortadas.

Segundo ÇENGEL (p.27, 2012), o coeficiente de transferência de calor  $h$  trata-se de um parâmetro determinado experimentalmente, cujo valor depende de todas as variáveis que influenciam a convecção, como a geometria da superfície, natureza

do movimento do fluido, propriedades do fluido e velocidade da massa de fluido. Alguns valores típicos de  $h$  estão na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção. (Adaptado ÇENGEL, 2012)

<b>Tipo de convecção</b>	<b><math>h</math>, W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Convecção livre de gases</b>	2-25
<b>Convecção livre de líquidos</b>	10-1000
<b>Convecção forçada de gases</b>	25-250
<b>Convecção forçada de líquidos</b>	50-20000
<b>Ebulição e condensação</b>	2500-100000

A condutividade térmica do material utilizado no experimento como podemos ver na figura 4.4 e seus respectivos valores.

Tabela 4.4 - Valores típicos da condutividade térmica para o alumínio. (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

<b>T, K</b>	<b><math>k</math>, W/m K</b>
	Alumínio
<b>100</b>	302
<b>200</b>	237
<b>300</b>	237
<b>400</b>	240
<b>600</b>	231
<b>800</b>	218

As superfícies estendidas (aletas) feitas de chapa de alumínio, pois apresentam uma condutividade boa e custo razoável. Para anexar as aletas em baixo da placa, que é revestida por um filme PVDF (Fluoreto de Polivinila) o mais

utilizado hoje em dia, que é um composto químico muito similar ao PVC (Policloreto de Vinila).

Utilizou-se cola pastas adesivas dissipadoras de calor para fixar as chapas de alumínio no painel solar. Essa cola adesiva possui condutividade térmica de 0,8 W/mK.



Figura 4.7 - Cola pasta adesiva dissipadora de calor.

As barras chatas de alumínio pesam 0,405 Kg cada uma, portanto foi necessário além da cola outro apoio para sustentação das barras na placa. Foram utilizadas pequenas cantoneiras que foram parafusadas na lateral da placa e coladas com DurePloxe.



Figura 4.8 - Cantoneiras para ajudar na sustentação das barras.

A figura 4.9 mostra os dissipadores já colados na placa para a coleta das temperaturas.



Figura 4.9 - Dissipadores instalados na placa fotovoltaica.

#### 4.3 Coleta dos dados

A coleta dos dados com o funcionamento da placa com as aletas foi com horários específicos no cercado que fica entre o NUTENGE e o prédio do CCT da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA.

Com o auxílio de um computador com softwares adequados foi feita a aferição das temperaturas através de quatro termopares que foram fixados na parte superior e inferior da placa fotovoltaica.

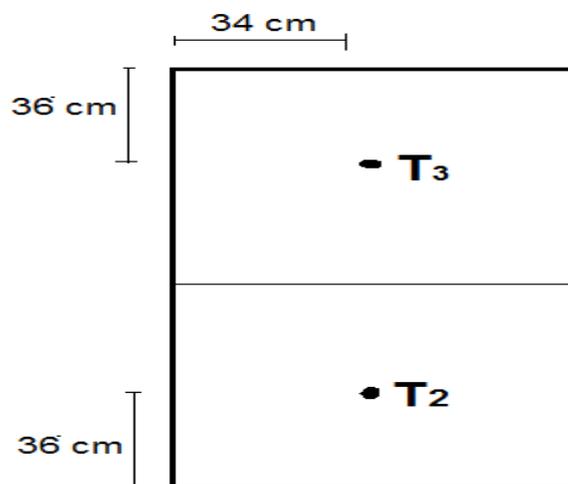


Figura 4.10 – Ilustração dos termopares na parte superior da placa.

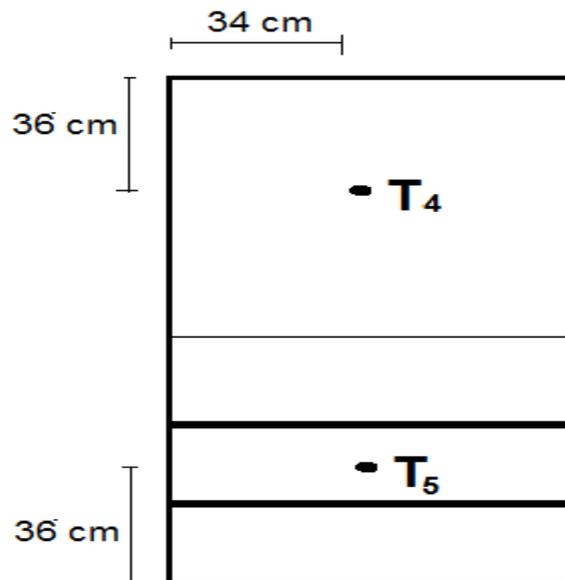


Figura 4.11 – Ilustração dos termopares na parte inferior da placa.

O aparelho para aferir e coletar os dados da temperatura foi o *Fieldlogger*. Conectado ao computador, possui uma interface que lê e armazena todos os dados das temperaturas a partir de períodos pré-estabelecidos. Os termopares, também chamados de canais, são conectados a ele e na placa. Antes de fazer a coleta existe uma configuração a ser feita como, selecionar tipo de canal, habilitar canais, selecionar período a ser coletado e dentre outras variáveis que podem ser feitas através dele.



Figura 4.12 - Equipamento de leitura das temperaturas.

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados das temperaturas da placa fotovoltaica com inclinação de 0° do dia 14/06/2019 no período das 10h45min às 13h34min foram coletados valores que puderam ser comparados com os outros termopares instalados na placa. Como pode ser visto na figura 5.1, a menor temperatura se deu no termopar localizado na parte de baixo entre as aletas que foram instaladas na placa.

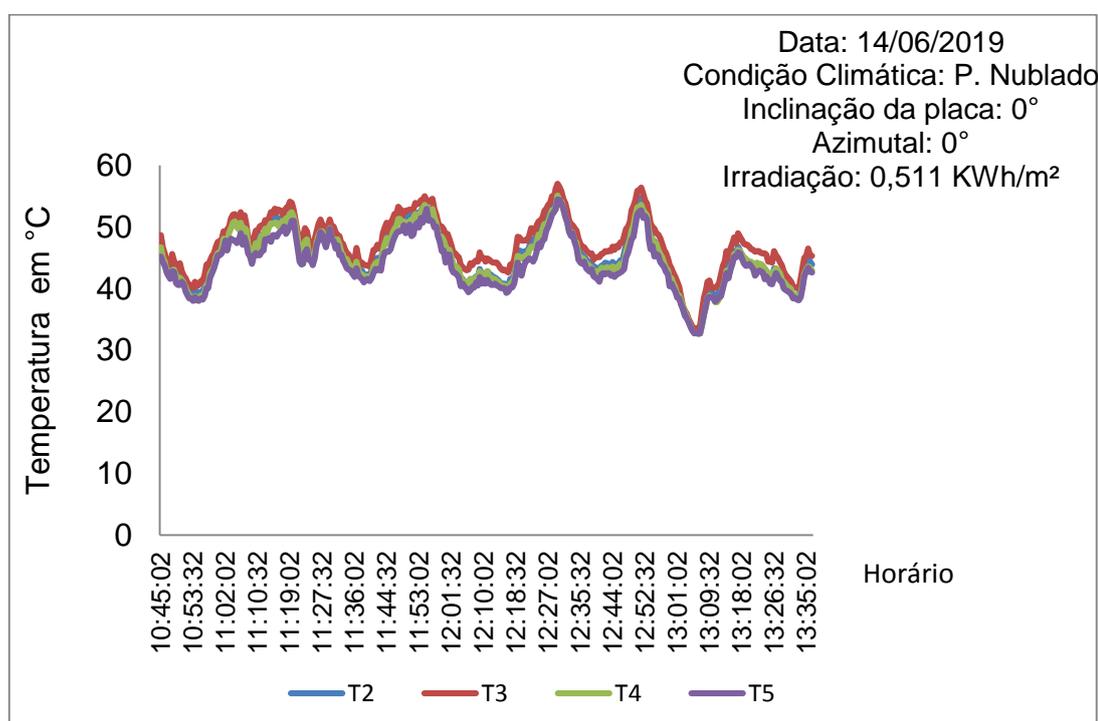


Figura 5.1 - Temperaturas da placa fotovoltaica.

Em toda leitura das temperaturas há oscilações consideráveis devido ao tempo, as nuvens tem interferência significativa, pois o aparelho é ligado no próprio sistema de geração de energia solar.

Verifica-se que a temperatura da placa em T5 que fica na parte inferior entre as aletas instaladas tem uma diminuição da temperatura se comparado com o a temperatura T4. Como se pode vê na Figura 5.2 tem-se uma diminuição da temperatura em T2 em relação com T3. Portanto, os dissipadores instalados tiveram uma influencia na temperatura das placas.

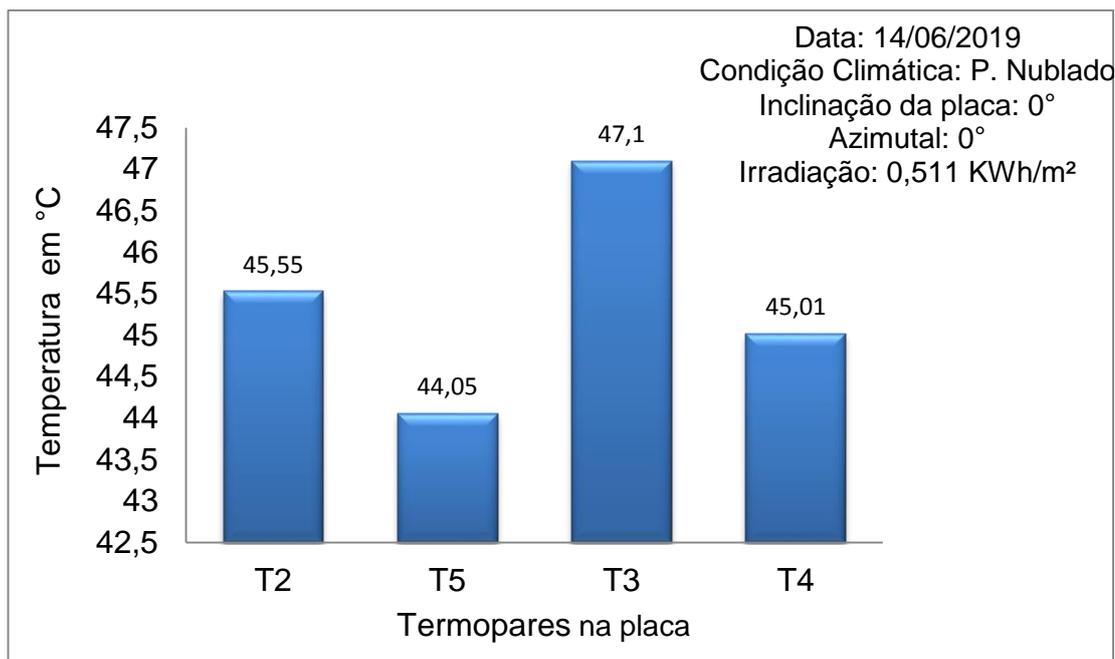


Figura 5.2 - Temperatura média da placa nas posições estabelecidas.

As figuras 5.3 e 5.4 mostram as variações das temperaturas coletadas no dia 14/04/2019 e do dia 26/06/2018 no horário das 10h45min às 13h35min com leitura dos dados a cada 30 segundos.

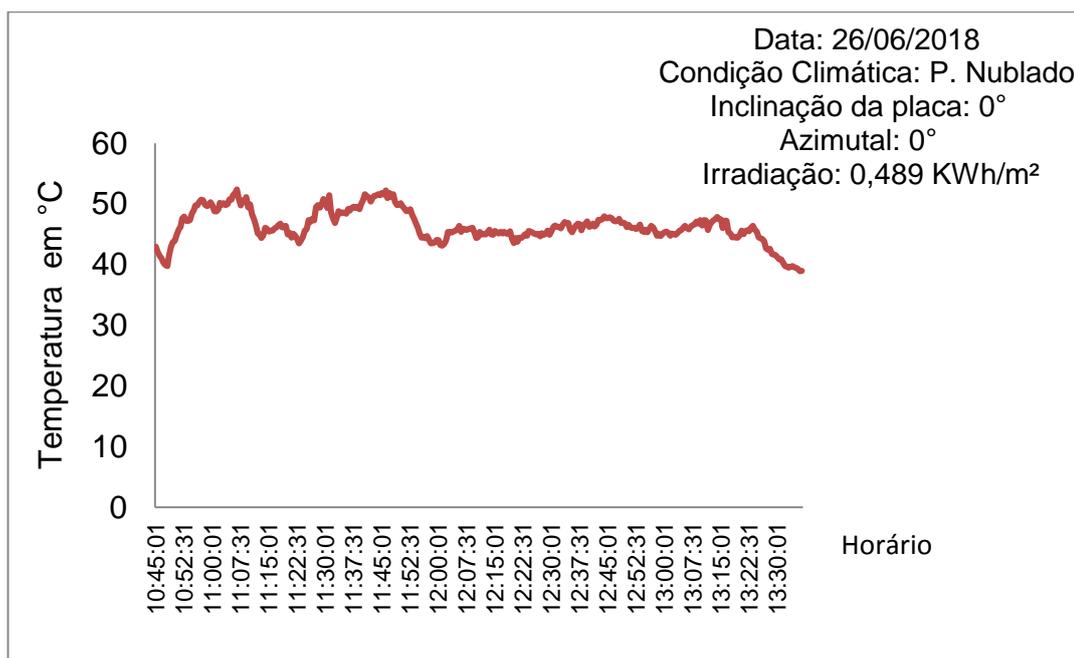


Figura 5.3 - Temperatura da placa do dia 26 de Junho.

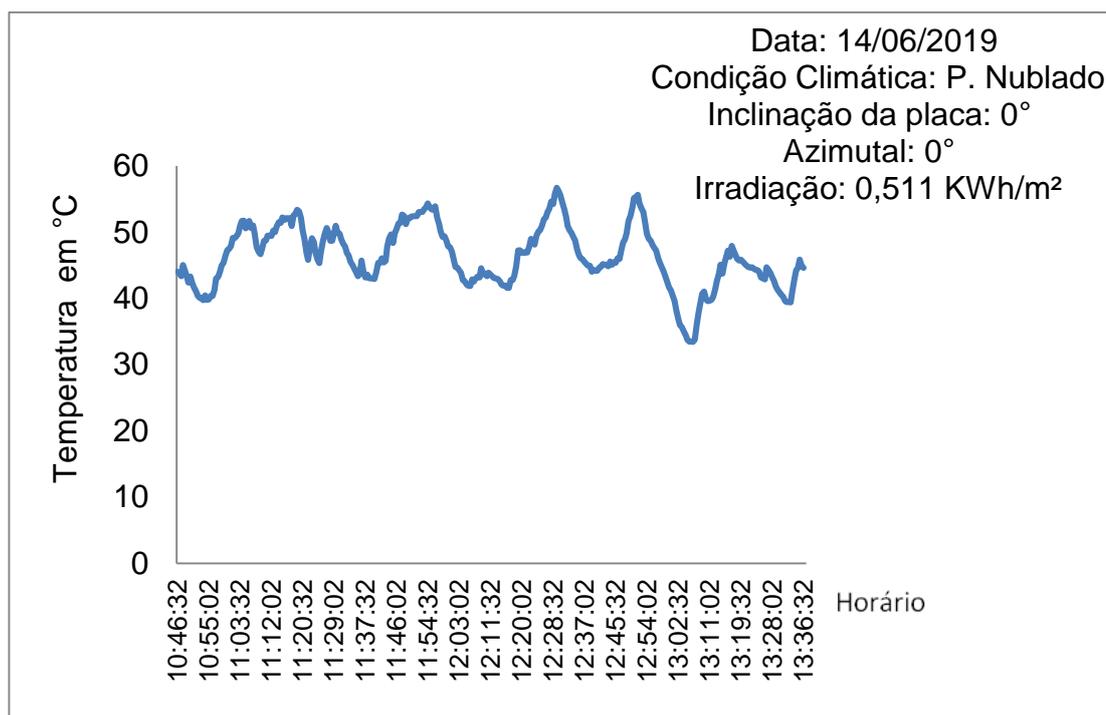


Figura 5.4 - Temperatura da placa do dia 14 de Junho.

As temperaturas da placa sem as aletas foram coletadas no ano de 2018 pelos alunos do projeto de pesquisa da UEMA que estudam a eficiência das placas fotovoltaicas. Os mesmos forneceram os dados para comparar e analisar os resultados obtidos com as aletas a fim de contribuir para um estudo mais aprofundado sobre a energia solar e os mecanismos que aumentam a eficiência da placa fotovoltaica.

Observa-se que entre os dois dias coletados as temperaturas do dia 14/06/2019 tiveram várias oscilações no horário estabelecido, enquanto as temperaturas do dia 26/06/2018 as oscilações foram razoavelmente menores. Isso pode ter ocorrido pelo número de nuvens, servindo como um obstáculo para a captação da radiação pela placa, assim como a posição dos termopares.

Para a análise das temperaturas da placa foram coletadas as temperaturas com inclinações distintas, e através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) podem-se observar alguns dados para essa a data coletada.

Tabela 5.1 - Dados de estação do dia 26. (Adaptado de INMET)

26/06/2018											
Temp (°C)		Umidade (%)		P. de Orvalho (°C)		Pressão (hPa)		Vento (m/s)			Radiação
Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	(kJ/m <sup>2</sup> )
28.9	28.9	67	76	22.2	22.9	1007.8	1007.8	2.3	28	5.9	2099
28.5	29.7	70	70	22.4	22.9	1007.6	1007.9	1.4	28	5.5	2005
29.7	29.8	61	70	21.5	22.9	1006.9	1007.6	1.7	28	4.8	1521
29.6	30.0	68	70	23.0	23.5	1006.3	1006.9	1.3	28	4.1	1421

Tabela 5.2 - Dados de estação do dia 14. (Adaptado de INMET)

14/06/2019											
Temp (°C)		Umidade (%)		P. de Orvalho (°C)		Pressão (hPa)		Vento (m/s)			Rad
Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	(kJ/m <sup>2</sup> )
27.9	26.8	75	80	23.3	22.0	1008.7	1008.5	2.3	314	6.5	1958
29.0	27.9	71	75	23.2	22.3	1008.6	1008.3	2.6	317	7.4	2037
30.1	28.3	65	72	23.2	22.1	1008.3	1007.9	3.2	316	7.2	1832
30.3	29.1	66	69	23.4	22.0	1007.9	1007.1	2.1	304	7.2	1544

Como podemos perceber existem algumas variáveis que implicam diretamente na coleta dos dados, e conseqüentemente na temperatura da placa. Como as condições climáticas não são as mesmas os dados podem divergir e apresentar resultados não tão precisos, pois tais variáveis não possuem exatidão quando comparadas com outras.

Foram fornecidos também alguns valores de temperatura da placa com inclinações distintas. Essa coleta como se vê na Tabela 5.3, possibilita um melhor estudo para com as temperaturas da placa, proporcionado um ângulo adequado para um melhor desempenho da mesma.

Tabela 5.3 - Temperatura da placa.

Data	Ângulo da placa	Condição Climática	10 horas	12 horas
14/mai	5°	Nublado	47,9	48,9
16/mai	15°	Parcial Nublado	52	38,6
13/jun	20°	Ensolarado	50,7	57,2
18/jun	30°	Ensolarado	43,58	41,85
21/jun	45°	Nublado	46,18	39,23
25/jun	60°	Nublado	47	46,81

Essas temperaturas obtidas foram feitas através de uma média. A coleta dos dados foi feita com intervalos de 30 segundos, portanto existem muitos valores a serem lidos e a média facilita os estudos. Portanto, quanto mais valores se têm mais preciso será o resultado. O mesmo processo da coleta de dados foi feito para com a placa com as aletas.

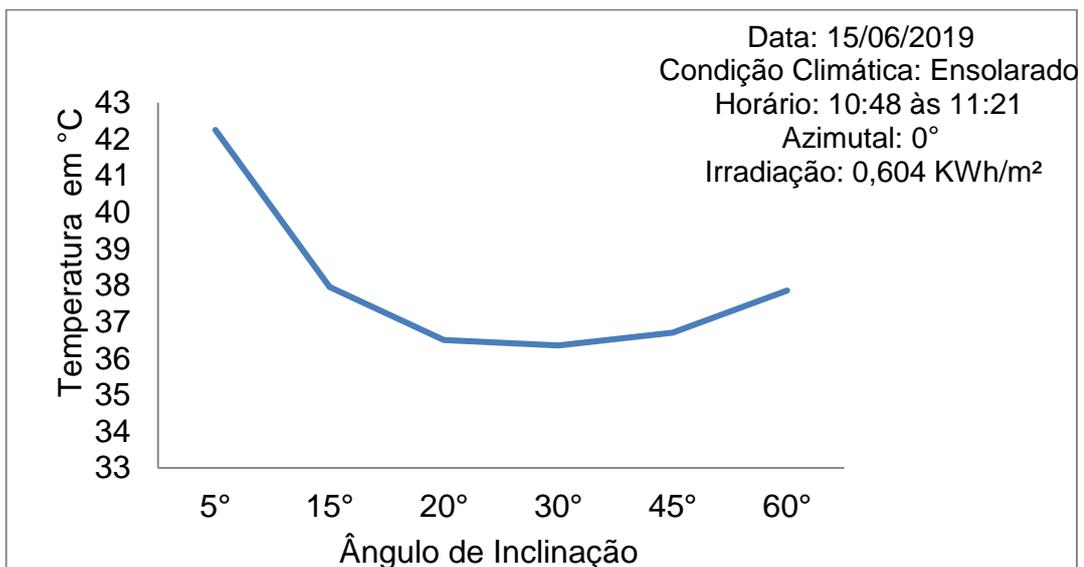


Figura 5.5 - Temperatura com inclinações da placa as 10h.

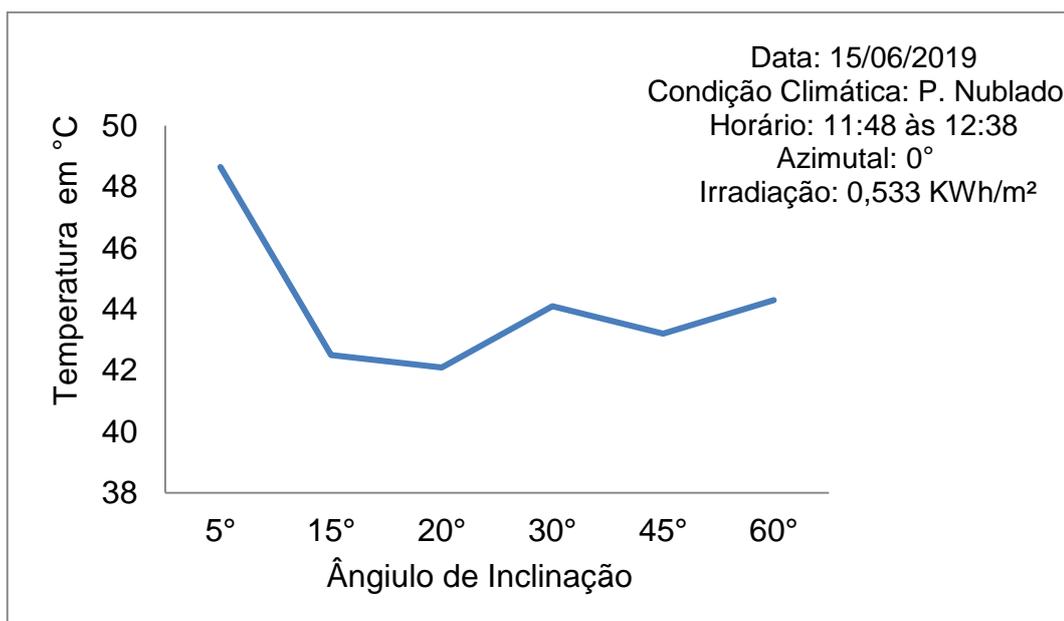


Figura 5.6 - Temperatura com inclinações da placa as 12h.

Com relação às análises da temperatura na placa, teve-se redução e diferença entre os termopares instalados na placa. Haveria uma análise melhor das temperaturas se fossem analisadas duas placas fotovoltaicas ao mesmo tempo, do mesmo modelo e dimensões, uma com as aletas e outra sem as aletas. Assim teria uma avaliação mais construtiva e precisa de quanto foram as variações da temperatura nas duas placas, pois também teria a mesma irradiação e condição climática, isso no mesmo ângulo de inclinação da placa e azimutal a 0°.

Vale ressaltar o valor da condutividade da cola que faz a união das chapas de alumínio com a parte inferior da placa, talvez com um valor maior que 0,8 W/mK implicaria num aumento da taxa de transferência de calor, proporcionando assim uma redução maior da temperatura.

É viável também um dimensionamento mais específico das aletas, um dimensionamento mais detalhado pode trazer além da redução maior da temperatura e custo benefício para cada aplicação.

## 6 CONCLUSÃO

É notório que os equipamentos que aquecem muito ao seu funcionamento precisam de algum sistema de arrefecimento para um desempenho ideal ou um melhoramento em determinadas funções. As superfícies estendidas têm um papel muito importante nesse quesito.

Em placas fotovoltaicas vimos que há uma considerável redução da temperatura. Quando se fala de redução da temperatura seja em dispositivos eletrônicos ou outros equipamentos que tenham um limite de temperatura para um melhor funcionamento, temos que levar em conta o desempenho que está ligado a sua eficiência. Contudo, além de construir algo que melhore tais funções, devemos também relacionar com a eficácia do produto e seu uso, pois muitas das vezes se torna inviável quando se trata do custo benefício que tal mecanismo pode trazer, ou seja, ao adicionarmos mais aletas na placa a tendência é que ocorra uma diminuição da temperatura mais acentuada devido a uma maior transferência de calor, mas também se tem aumento do peso e preço.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a realização da fixação das aletas, as mesmas tiveram influência na redução da temperatura. Adicionando mais aletas à placa pode se ter uma diminuição mais acentuada da temperatura e conseqüentemente um rendimento melhor.

A produção de dissipadores compactos e específicos para cada placa. Como segue a ilustração abaixo podem fornecer uma melhora significativa na eficiência da placa.

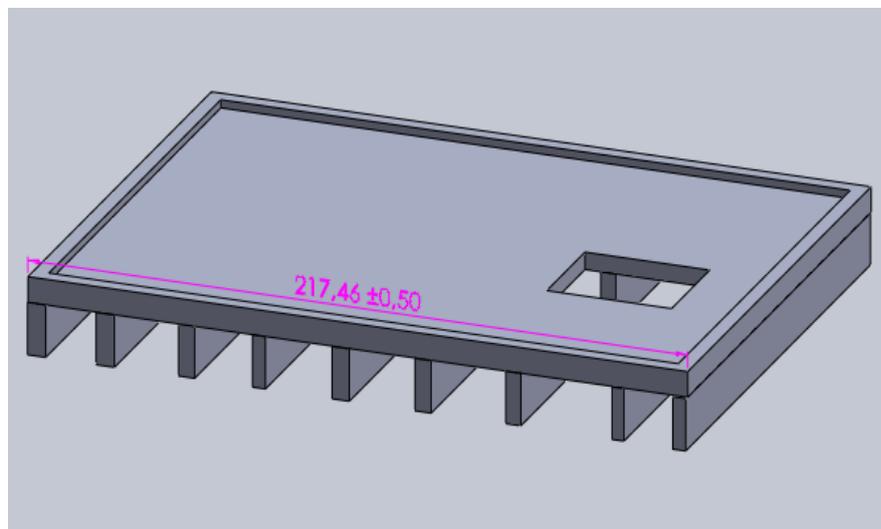


Figura 7.1 - Vista ilustrativa em 3D do dissipador compacto.

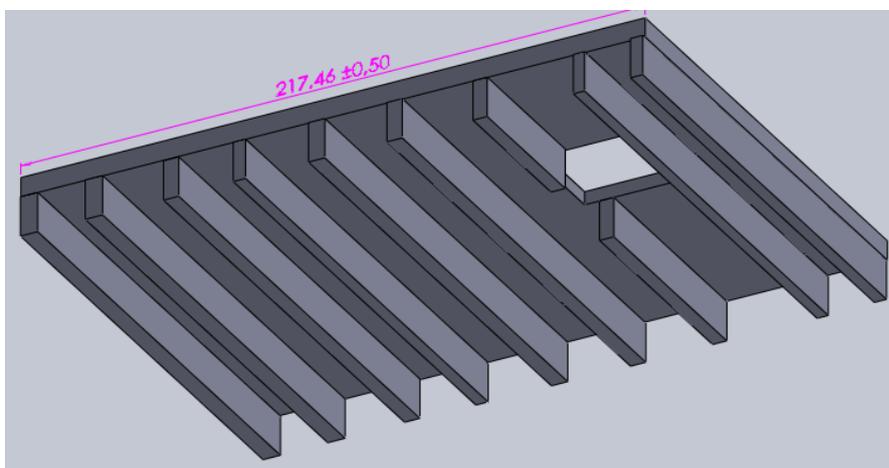


Figura 7.2 – Vista ilustrativa inferior do dissipador compacto.

## 8 REFERÊNCIAS

ABRAVA. Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar. Edição Abril de 2008. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>> Acesso em 03 de Abril de 2019.

ALVES, Dennys Lopes. *Geração Solar Fotovoltaica – Conceitos Básicos*. 2016. Disponível em: <[https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila\\_geracao\\_solar\\_fv\\_0.9.1](https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1)> Acesso em 03 de abril de 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Capacidade de Geração do Brasil. Banco de Informações de Geração – BIG. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 23 de Março. 2019

ANEEL. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL. 2017. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica\\_0056\\_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9)> Acesso em 26 de Março. 2019

CRESESB - *Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito. Energia Solar. Princípios e aplicações*. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm) Acesso em 25 de Fev. 2019

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. *Alternativas Energéticas: uma visão Cemig*. Belo Horizonte: Cemig, 2012. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas> Acesso em 15 de Março de 2019.

ÇENGEL, Yunus A; GHAJAR, Afshim J. *Transferência de calor e massa: uma abordagem prática*. 4ª Edição. AMGH Editora Ltda. 2012.

INCROPERA, Frank P. et al. *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. Sexta Edição. LTC. Rio de Janeiro, 2008.

INDUSTRIAHOJE. Disponível em: <<https://industriahoje.com.br/radiador-automotivo>> Acesso em 26 de Março 2019.

PINTO, Carlos. et al. *Energia Solar*. Projeto FEUP. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP. 2015

MATTOS, Gustavo Marques. *Estudo de rendimento e temperatura de painéis fotovoltaicos com uso de técnica de concentração solar*. Escola Politécnica – UFRJ. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:< <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017182.pdf>> Acesso em 22 de Março de 2019.

SERRÃO, Marcos Antônio dos Santos. *Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba-Paraty*. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>> Acesso em 2 de Abril de 2019.

SHUTTERSTOCK. *Portifólio Ozja*. Disponível em:<<https://www.shutterstock.com/g/ozja>> Acesso em 26 de Março. 2019.

STEGOUSAURUS. In: WILKIPEDIA - A enciclopédia livre. Disponível em:<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Stegosaurus>> Acesso em 26 de Março.2019.