

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

Curso de Engenharia Mecânica

TARCÍSIO YAGO VIEGAS DOS SANTOS

**ESTUDO COMPARATIVO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA O  
ABASTECIMENTO DE UM RESIDENCIAL.**

São Luís /Ma

2019

TARCÍSIO YAGO VIEGAS DOS SANTOS

**ESTUDO COMPARATIVO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA O  
ABASTECIMENTO DE UM RESIDENCIAL.**

Orientador: Prof. Msc Paulino Cutrim

Monografia de graduação  
apresentada ao Curso de Engenharia  
Mecânica da Universidade Estadual do  
Maranhão como parte dos requisitos  
exigidos para obtenção do título Bacharel  
em Engenharia Mecânica

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE  
À VERSÃO FINAL DA  
MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO  
ALUNO.....  
.. ....., E  
ORIENTADA PELO PROF.  
MSC.....

São Luís / Ma

2019

Santos, Tarcisio Yago Viegas dos.

Estudo comparativo de energias renováveis para o abastecimento de um residencial / Tarcisio Yago Viegas dos Santos.– São Luís, 2019.

... 50f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Me. Paulino Cutrim.

1.Energia renovável. 2.Energia solar.3.Sistemas fotovoltaico.  
4.Pequena central hidrelétrica. I.Título

CDU: 620.92

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

**Estudo comparativo de energias renováveis para o abastecimento de um  
residencial.**

Autor: Tarcísio Yago Viegas dos Santos

Orientador: Paulino Cutrim

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

---

Prof. Me. Max William Frasão Reis

---

Prof. Me. Yuri Alisson Barreto Cutrim

---

Prof. Me Paulino Cutrim

São Luís/MA, 25 de novembro de 2019



## **Dedicatória**

Dedico também está, como as demais conquistas, primeiramente ao meu bom Deus, ao meu orientador Prof. Me. Paulino Cutrim, por nunca me abandonar e sempre me incentivar, aos meus amados pais Tania Viegas e Narciso Antônio Alves do Santos, por sua capacidade de acreditar e investir em mim.

Aos meus amigos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para esse trabalho.



## **Agradecimentos**

Ao Professor Msc. Paulino Cutrim, pela paciência e incentivo na orientação, que tornou possível a concretização da minha formação, inclusive pessoal, com ensinamentos que levarei para o resto da vida.



## **RESUMO**

Com o decorrer dos anos a energia vem se tornando um dos maiores problemas do mundo, decorrente da escassez dos recursos não renováveis e poluentes no qual atualmente são as maiores fontes de energia. As energias renováveis então, se tornam uma alternativa viável para solução de tal problema. Alguns autores costumam falar em energia limpa, contudo, toda a energia conhecida até hoje, de alguma forma resulta em certo resíduo (grande ou não), não favorável ao planeta. Desta forma, também é importante falar dos impactos gerados por todas estas energias. Este trabalho visa utilizar como fonte alternativa a energia fotovoltaica, projetando e dimensionando um sistema para abastecimento de um conjunto residencial. Realizando assim uma análise de outras possíveis fontes de energia e relacionando cada qual com o seu devido impacto na natureza. De acordo com o estudo feito neste trabalho, foi possível calcular o tempo de retorno de investimento do projeto que está em torno de 5,56 anos, um valor muito maior se comparado com a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) que está em torno de 1,86 anos e o gerador diesel com o retorno em 2,65 anos.

**Palavras-Chave:** Energia Renovável, Energia Solar, Pequena central hidrelétrica, Sistemas Fotovoltaicos.



## ABSTRACT

Over the years, energy has become one of the world's problems, due to the scarcity of non-renewable resources and pollutants to which currently are the largest sources of energy. Renewables then become a viable alternative for solving such a problem. Some authors often talk in clean energy, however, all the energy known today, somehow results in some waste (large or not), not favorable to the planet. Thus, it is also important to mention the impact generated by all these energies. This work aims to use as an alternative source photovoltaics, designing and sizing a system for supply of a residential complex. thus carrying out an analysis of other possible sources of energy and relating each with its due impact on nature. According to the study done in this work, it was possible to calculate the project investment return time is around 5,56 years, a much higher value compared to the Small hydroelectric power station (PCH) that is around 1,86 years and the diesel generator with return in 2,65 years.

**Keywords:** Renewable Energy, Solar Energy, Small hydroelectric power station ,Photovoltaics.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Oferta total de energia primária no mundo. ....	16
Figura 2- absorção de um fóton em um semicondutor com banda e <i>gap</i> em $E_g$ . O fóton com a energia $E_f = kv$ excita um elétron de $E_i$ para $E_f$ . ....	20
Figura 3- Sistema Isolado com armazenamento e cargas CC. ....	21
Figura 4- Esquema de uma moderna placa de silício cristalino. ....	22
Figura 5- Fórmula da Potência máxima e da eficiência. ....	23
Figura 6 – Arranjo de células em série. ....	24
Figura 7- Estrutura de emissões de gases do óleo diesel. ....	36
Figura 8- Modelo de residência para conjunto habitacional. ....	41



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Oferta de energia elétrica no brasil. ....	1717
Gráfico 2- Emissões de CO2 por combustível.....	1818
Gráfico 3- Dados de insolação solar em São Luis, Maranhão.....	1919
Gráfico 4- Curva característica IxV típica de uma célula de silício monocristalina. ....	2323



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Média de consumo de energia elétrica conferida na conta de energia elétrica. ....	27
Tabela 2- Comparação entre painéis solares encontrados no mercado. ....	2828
Tabela 3- Dimensionamento placa fotovoltaica por residência. ....	2929
Tabela 4- Dimensionamento fotovoltaico por projeto. ....	3020
Tabela 5- Seleção de baterias estacionárias. ....	3131
Tabela 6- Seleção dos controladores de carga. ....	3131
Tabela 7- Combinações e seleção dos controladores de carga. ....	3232
Tabela 8- Análise Econômica do sistema fotovoltaico. ....	3333
Tabela 9- Seleção do Gerador à Diesel. ....	34
Tabela 10- Análise de Economia Média Anual Gerador a Diesel. ....	3535
Tabela 11- Descrição das características das substâncias geradas pelo óleo diesel. ....	36
Tabela 12- Seleção de turbina para PCH. ....	3838
Tabela 13- Análise de Economia Média Anual PCH. ....	3838
Tabela 14- Resumo de seleção técnica dos conjuntos. ....	4241
Tabela 15- Comparativo entre projetos em custo e tempo de retorno de investimento... ....	42



## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
<b>2</b>	<b>ENERGIA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Energia no Mundo e no Brasil .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Emissões de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>RADIAÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Insolação diária de São Luís .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Efeito Fotovoltaico .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Carga Corrente Contínua (CC) com armazenamento .....</b>	<b>21</b>
4.1.1	Componentes Básicos de Carga CC com armazenamento ...	22
<b>5</b>	<b>GERADORES À DIESEL E PCH .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Geradores à Diesel .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Pch- Pequena Central Hidrelétrica .....</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA E RESIDÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Seleção do Painel Solar .....</b>	<b>27</b>
<b>7.2</b>	<b>Seleção da bateria .....</b>	<b>30</b>
<b>7.3</b>	<b>Seleção do controlador de carga.....</b>	<b>31</b>
<b>7.4</b>	<b>Análise econômica do projeto fotovoltaico .....</b>	<b>32</b>
<b>7.5</b>	<b>Impactos Ambientais gerados por Sistemas Fotovoltaicos .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>SELEÇÃO DO GERADOR À DIESEL E ANÁLISE ECONOMICA.....</b>	<b>34</b>
<b>8.1</b>	<b>Impactos Ambientais gerados por Geradores a Diesel.....</b>	<b>35</b>



<b>9</b>	<b>SELEÇÃO DE TURBINA PARA PCH- PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA.....</b>	<b>38</b>
	<b>9.1 Impactos Ambientais gerados por Pequena Central Hidrelétrica</b> .....	39
<b>10</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
	<b>10.1 Regiões de Possíveis Instalações do Conjunto Residencial e do Sistema</b>	41
	<b>10.2 Resumo Comparativo entre Sistemas de Geração de Energia</b>	42
<b>11</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crise energética mundial decorre da escassez progressiva dos recursos não renováveis e poluentes, como o petróleo e o gás natural, que são uma das principais fontes de energia. A partir de então, iniciou-se a necessidade de procurar por novas formas de energias que pudessem ser utilizadas, onde estas tivessem fonte inesgotável e que prejudicassem o mínimo possível o meio ambiente. Contudo, apesar dessa necessidade, o modelo energético atual mundial mostra que alguns países de maior desenvolvimento pesquisam e tentam desenvolver novos métodos para obter energias renováveis e menos poluentes, já outros menos desenvolvidos, ainda não estão produzindo e desenvolvendo métodos destas energias.

A crise energética Brasileira é causada por outra circunstância, como a maioria da energia utiliza no país é provinda de usinas hidrelétricas e o houve uma queda considerável nos níveis de chuva no país, isto ocasionou uma queda nos níveis dos reservatórios e conseqüentemente uma queda considerável na produção de energia elétrica para fornecimento. O Brasil também enfrenta outro problema com relação à energia, este relacionado com a distribuição, pois suas linhas são antigas e possuem várias falhas.

É neste contexto que é proposto o conteúdo deste trabalho, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de 300 kW isolado da rede que atenda a um conjunto residencial. Contudo, para uma melhor análise, este trabalho também traz um comparativo com mais duas outras possíveis fontes alimentando o sistema: Geradores à Diesel e uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH. Como foi citado anteriormente, toda a produção de energia gerada até hoje tem seus resíduos, portanto, esse comparativo é essencial para uma análise e tomada de decisão. A análise comparativa dos três sistemas é dada nos seguintes parâmetros: Custo do projeto e impactos ambientais causados.

Este trabalho montou um banco de dados relacionado ao tema ‘Projeto e dimensionamento de um sistema fotovoltaico de 300kW para um conjunto residencial’. Para isso, foi feito um Levantamento Bibliográfico geral sobre o assunto e, com base no banco de dados gerado, coletou-se as referências necessárias e a simulação foi feita

em uma planilha elaborada em programa de análise de dados. Desse modo foi criada uma tabela com os resultados para melhor comparar os resultados encontrados.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Dimensionar um sistema fotovoltaico de 300 kW para um conjunto residencial composto de 20.000 casas. Comparar de forma quantitativa em valor de investimento e impacto ambiental o sistema dimensionado com sistemas de Geradores a Diesel e PCH que atendam a mesma demanda de energia. Identificar possíveis localidades para implementação dos três sistemas dentro da cidade de São Luís, Maranhão.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Dimensionar sistema fotovoltaico, geradores a diesel e PCH que atenda aos pré-requisitos exigidos;
- ✓ Pesquisar fornecedores dos sistemas dimensionados;
- ✓ Sugerir possível local para aplicação dos sistemas;
- ✓ Levantar impactos ambientais dos três sistemas;
- ✓ Comparar e fazer considerações sobre valores do custo total de cada projeto, assim como os impactos ambientais de cada sistema;
- ✓ Elaborar resumo comparativo entre cada um dos sistemas com relação aos dados coletados.

## **2 ENERGIA**

O conceito de energia tem várias definições, cada uma com uma característica diferente, para abordagens diferentes. Como neste trabalho estar-se tratando de geração de energia elétrica, a definição abordada aqui será guiada por isso. Segundo a AES- Eletropaulo (2016):

Energia é a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. Pode ter várias formas: potencial, mecânica, química, eletromagnética, elétrica, calorífica, etc. Essas várias formas de energia podem ser transformadas umas nas outras. A energia elétrica - ou eletricidade - é como se designam os fenômenos em que estão envolvidas cargas elétricas. A energia elétrica pode ser gerada por meio de fontes renováveis de energia (a força das águas e dos ventos, o sol e a biomassa), ou não-renováveis (combustíveis fósseis e nucleares). No Brasil, onde é grande o número de rios, a opção hidráulica é mais utilizada e apenas uma pequena parte é gerada a partir de combustíveis fósseis, em usinas termelétricas.

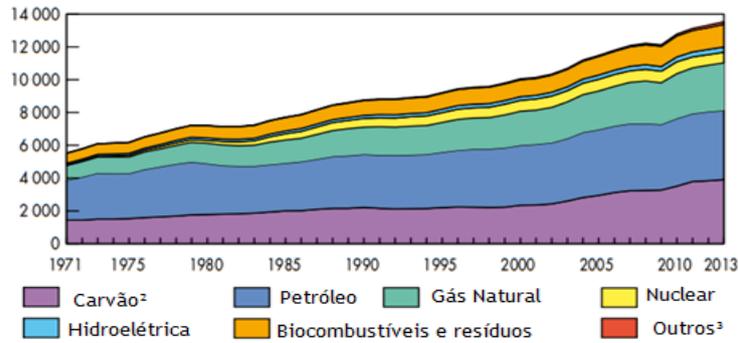
### **2.1 Energia no Mundo e no Brasil**

Segundo a ANEEL (2008, p. 39) o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Com ele é possível saber o nível de atividade do país em vários setores, como industrial, comercial e capacidade da população em adquirir tecnologias.

O consumo de energia mundial está dividido para vários tipos, marítimos, industriais, residenciais, entre outros. Na Figura 1, pode-se ver a oferta total de energia primária por fonte de produção de energia usada para consumo no mundo de 1971 e 2013.

## Mundo

### Oferta total mundial<sup>1</sup> de energia primária (OIE) 1971-2013 por combustível (Mtep)



### 1973 e 2013, proporções de combustível por tipos

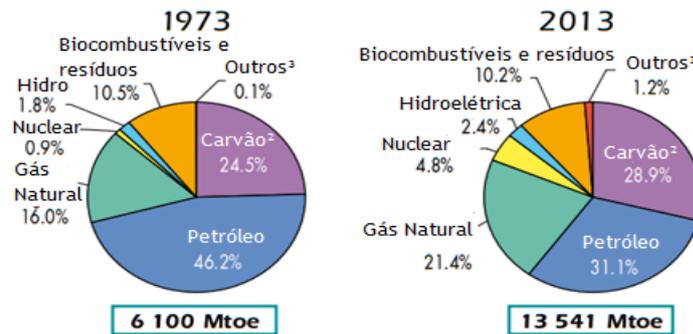


Figura 1- Oferta total de energia primária no mundo.

Fonte: IEA (2015, p. 6) Adaptado (1. Mundial inclui aviação internacional e bancas marítimas internacionais. 2. Nestes gráficos, turfa e óleo de xisto são agregados com carvão. 3. Inclui geotérmica, solar, eólica, calor, etc..).

No Brasil o resultado da oferta de energia de acordo com Resenha Energética Brasileira *apud* FDC foi de acordo com o gráfico abaixo.

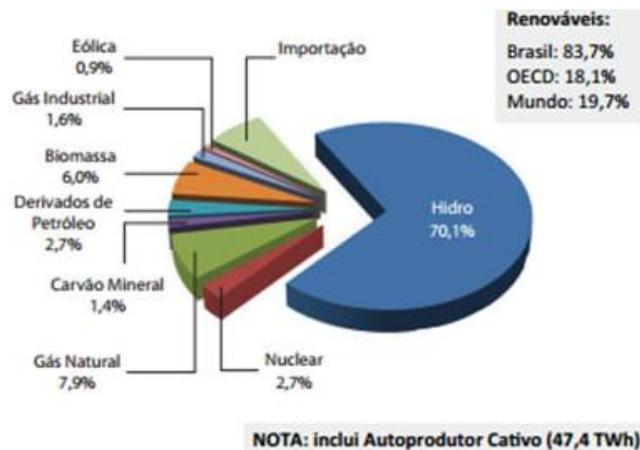


Gráfico 1- Oferta de energia elétrica no Brasil.

Fonte: Resenha Energética Brasileira *apud* FDC (2019). Adaptado.

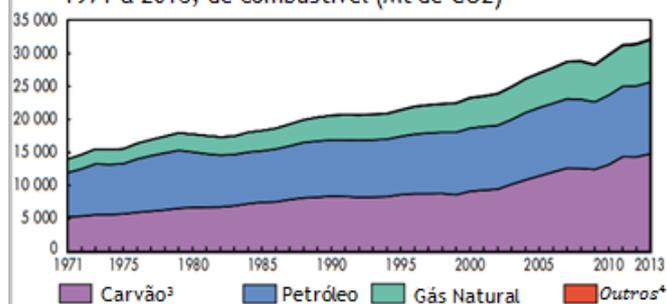
Assim podemos perceber que a maior oferta energética do mundo é diferente da oferta energética do Brasil. Enquanto no mundo tem-se o óleo como maior oferta, no Brasil tem-se como maior a fonte hidráulica. É importante também, ter sempre em mente os resíduos gerados por cada uma dessas fontes.

## 2.2 Emissões de $CO_2$

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é um dos maiores e mais prejudiciais resíduos emitidos pelos combustíveis que geram energia. A *IEA- world energy outlook* (2015, p. 44), demonstra no Gráfico 2 a emissão por combustível.

## Emissões de CO<sub>2</sub> por combustível

Emissões de CO<sub>2</sub> mundial<sup>1</sup> da queima de combustível<sup>2</sup>, de 1971 a 2013, de combustível (Mt de CO<sub>2</sub>)



Emissões de CO<sub>2</sub> mundial da queima de combustível, de 1971 e 2013, de combustível<sup>2</sup> (Mt de CO<sub>2</sub>)

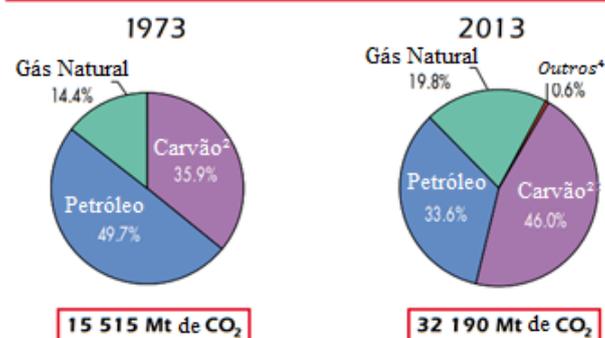


Gráfico 2- Emissões de CO<sub>2</sub> por combustível.

Fonte: IEA (2015, p. 44) Adaptado (1. Mundial inclui aviação internacional e bancas marítimas internacionais. 2. As emissões da queima de combustível de CO<sub>2</sub> são baseados nos balanços energéticos da AIE e sobre Orientações IPCC de 2006, excluindo as emissões de não-energia. 3. Nestes gráficos, turfa e óleo de xisto são agregados com carvão. 4. Inclui resíduos industriais e resíduos urbanos não-renovável.).

### 3 RADIAÇÃO

Segundo o GTES (2004) a Terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Desta forma a radiação solar constitui uma forma inesgotável de energia.

#### 3.1 Insolação diária de São Luís

A Insolação diária de São Luís foi obtida no Centro de Referência para Energia Solar e Energia Eólica Sérgio Brito - CRESESB. Os dados médios para insolação solar durante o ano e média em São Luís estão dispostos no Gráfico 3.

##### Localidades próximas

Latitude: 2,530833° S  
Longitude: 44,3068° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,501° S	44,349° O		5,7	5,16	5,12	4,90	4,77	4,76	4,91	5,15	5,73	6,16	5,99	5,90	5,72	5,36	1,39
<input type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,501° S	44,249° O		7,2	4,96	4,99	4,79	4,65	4,69	4,84	5,08	5,66	6,00	5,74	5,64	5,48	5,21	1,35
<input type="checkbox"/>	Sao Luis	Sao Luis	MA	BRASIL	2,601° S	44,349° O		9,1	4,77	4,76	4,64	4,56	4,58	4,81	5,01	5,54	5,94	5,75	5,55	5,30	5,10	1,38

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

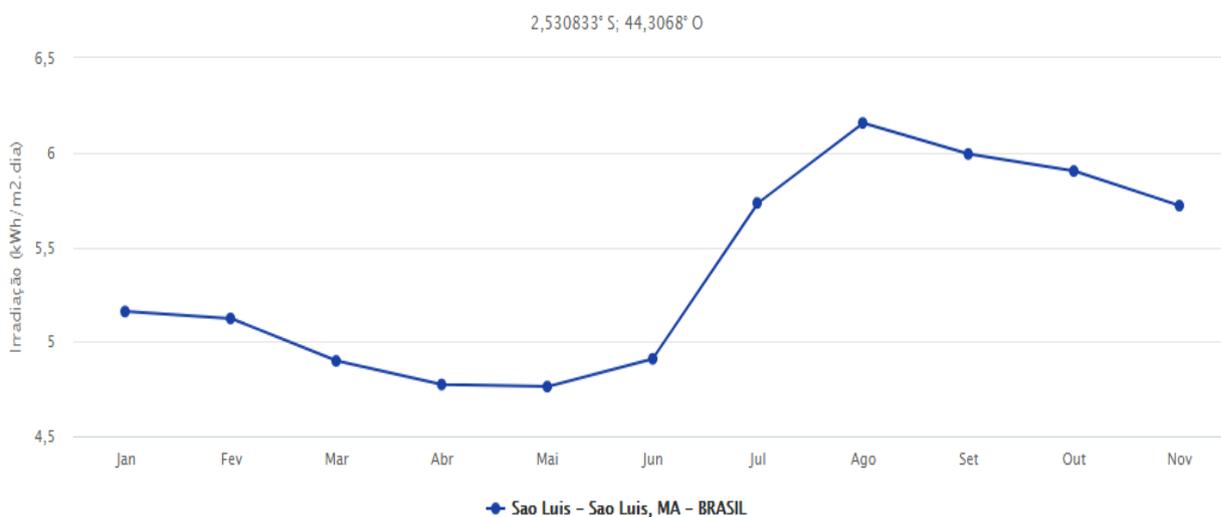


Gráfico 3- Dados de insolação solar em São Luís, Maranhão.

Fonte: CRESESB, 2019.

### 3.2 Efeito Fotovoltaico

Existem várias formas de conversão de energia solar em outros tipos de energia, entre eles tem-se o sistema que utiliza o efeito fotovoltaico, chamado de células fotovoltaicas.

Segundo GTES (2004, p. 30) existem na natureza materiais classificados como semicondutores, que se caracterizam:

Por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente “vazia” à temperaturas muito baixas. A separação entre as duas bandas de energia permitida dos semicondutores (“*gap* de energia”) é da ordem de 1 eV, o que os diferencia dos isolantes onde o *gap* é de vários eVs. Isto faz com que os semicondutores apresentem várias características interessantes. Uma delas é o aumento de sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica de portadores de banda de valência para a banda de condução. Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia superior ao *gap* do material, excitarem elétrons à banda de condução.

O funcionamento deste tipo de fenômeno é ilustrado na Figura 2.

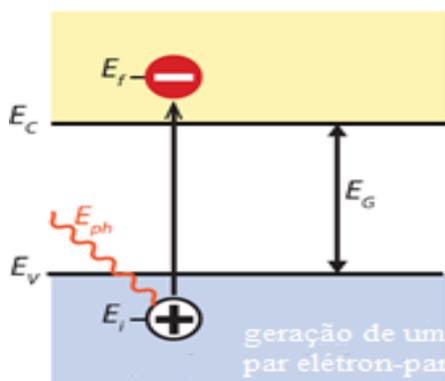


Figura 2- absorção de um fóton em um semicondutor com banda e *gap* em  $E_g$ . O fóton com a energia  $E_f = kv$  excita um elétron de  $E_i$  para  $E_f$ .

Fonte: Jäger *et. all* (2014, p.24) Adaptado.

De acordo com o GTES (2004, p. 30), o semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina.

## 4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para o GTES (2004, p. 35) os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados à rede. Os sistemas isolados são os que não são conectados à rede elétrica ou não apresentam fontes de energia complementares à geração fotovoltaica. GTES (2004, p. 35) também diz que se a configuração não se restringe à geração fotovoltaica têm-se sistemas híbridos.

### 4.1 Carga Corrente Contínua (CC) com armazenamento

Este sistema é onde se deseja usar equipamentos em corrente contínua. E segundo GTES (2004, p. 38) é necessário que a energia elétrica seja armazenada em baterias. Além disso, é comum o uso um controlador de carga, na forma de proteger a bateria de danos de sobrecarga.

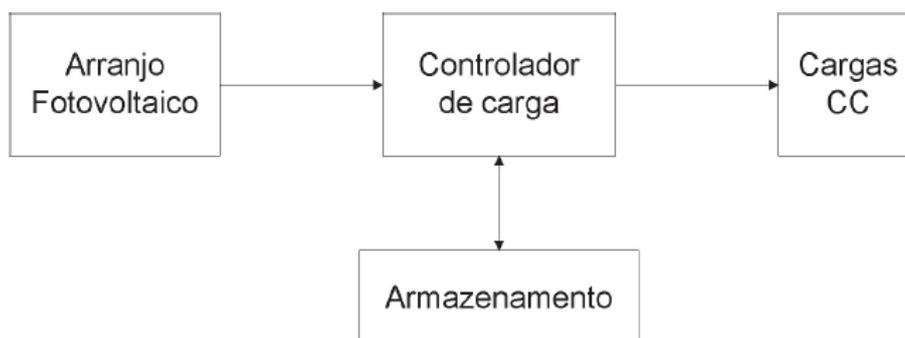


Figura 3- Sistema Isolado com armazenamento e cargas CC.

Fonte: GTES (2004, p. 38)

#### 4.1.1 Componentes Básicos de Carga CC com armazenamento

Os componentes básicos de um sistema de carga corrente contínua com armazenamento são: Modulo Fotovoltaico, Bateria e Controladores de Carga.

##### 4.1.1.1 Modulo Fotovoltaico

O modulo fotovoltaico é a unidade básica deste sistema. Segundo GTES (2004, p. 43) este é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e correntes suficientes para a utilização da energia. Abaixo a Figura 4 ilustra um modelo de placa fotovoltaica.

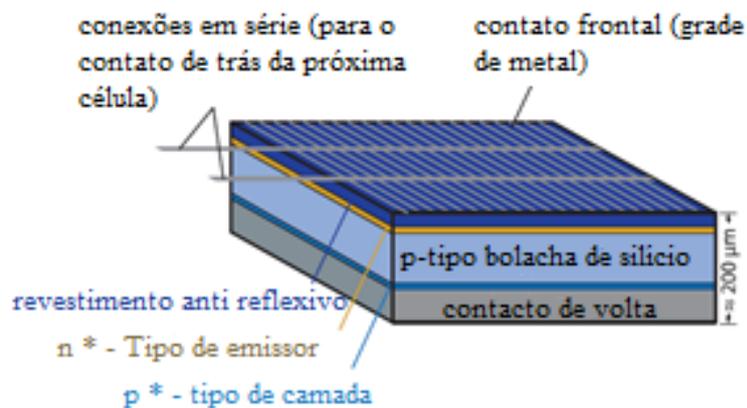


Figura 4- Esquema de uma moderna placa de silício cristalino.

Fonte: Jäger *et. all* (2014, p.24) Adaptado.

Existem vários tipos de semicondutores, os mais comuns são o Silício Monocristalino e o Policristalino. O GTES (2004, p. 44) diz que as células de silício monocristalino são formadas em fatias de um único grande cristal. A fabricação e pureza do material garantem alta confiabilidade do produto e altas eficiências. Já para o silício policristalino o GTES (2004, p. 44) ao invés de formar um único grande cristal, é solidificado em forma de um bloco composto de muitos pequenos cristais. A presença de interfaces entre os vários cristais reduz um pouco a eficiência dessas células.

Segundo o GTES (2004, p. 46) a potência dos módulos é dada pela potência de pico expressa na unidade (Wp). Quando um acessório é conectado, as medidas de corrente (I) e tensão (V) são plotadas no gráfico abaixo.

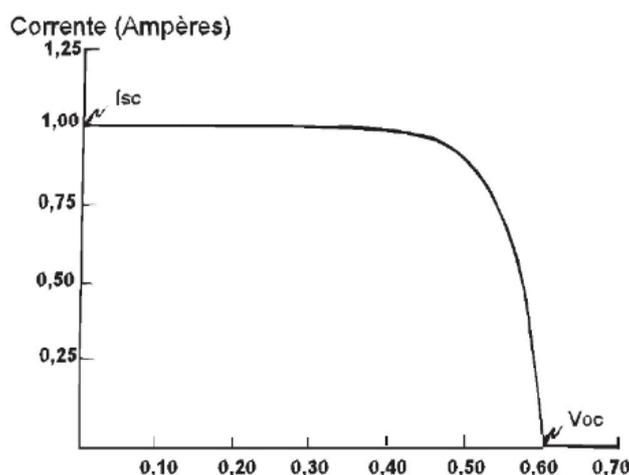


Gráfico 4- Curva característica IxV típica de uma célula de silício monocristalina.

Fonte: Photovoltaic System Design *apud* GTES (2004, p. 46).

Então o ponto de potência máxima corresponde ao produto da tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) e corrente de potência máxima ( $I_{mp}$ ). GTES (2004, p. 47) diz que os valores de  $P_m$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$  (tensão de corrente aberta, tensão no ponto onde corrente é zero não gerando corrente) e  $I_{sc}$  (corrente curto-circuito) são os cinco parâmetros que especificam o produto sob dadas condições de radiação, temperatura de operação e massa de ar.

A partir desses parâmetros podem ser calculadas algumas características da célula. Na figura abaixo se tem disposta as fórmulas, entre outros.

\* Potência máxima

$$P_m = I_{mp} \times V_{mp}$$

\* Eficiência

$$\eta = (I_{mp} \times V_{mp}) / (A \times I_c)$$

Figura 5- Fórmula da Potência máxima e da eficiência.

Fonte: GTES (2004, p. 48).

Outra característica das células são seus arranjos. GTES (2004, p. 48) diz que quando as mesmas estão em arranjo em série as tensões são adicionadas e a corrente não é afetada, como mostra a figura abaixo.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Figura 6 – Arranjo de células em série.

Fonte: GTES (2004, p. 48).

#### **4.1.1.2 Bateria**

Baterias tipos comuns de armazenamentos de energia. Contudo, existem vários tipos de baterias, o que torna necessário uma seleção para saber a correta a ser utilizada para cada sistema fotovoltaico. Segundo GTES (2004, p. 51) existem dois tipos básicos as primárias, que não são recarregáveis, e as secundárias, que são as recarregáveis. Dentro do grupo das secundárias, existem vários tipos como automotivas, tração, estacionárias, entre outras.

As baterias estacionárias de acordo com GTES (2004, p. 59) são direcionadas para aplicações em que as baterias permaneçam em flutuação e são solicitadas ocasionalmente para ciclos de carga/descarga.

#### **4.1.1.3 Controladores de Carga**

Para o GTES (2004, p. 68) os controladores de cargas são incluídos na maioria dos sistemas, com o objetivo de facilitar a máxima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria ou banco de baterias.

Existem variados tipos de controladores de carga, contudo os dois mais comuns no mercado atualmente são os PWM (*Pulse Width Modulation*) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Os PWM são os mais utilizados, pois apesar da menor eficiência se justificam pelo custo. Já os controladores MPPT, possuem maior

eficiência e são cerca de duas vezes mais caros. A NEOSOLAR (2019) explica a diferença que justifica essa maior eficiência:

Para entender a diferença, imagine um painel comum de 135 Wp abastecendo uma bateria de 12 V. Essa potência de pico (Wp) deste painel é a potência máxima produzida por ele no ponto em que gera, por exemplo, 17,7 V e 7,63 A ( $17,7 \times 7,63 = 135$ ). Um controlador PWM, nesse momento de pico, trará os 17,7 V para 12,5 V, por exemplo, mantendo os 7,63 A. Isso significa que dos 135 Wp, estará fornecendo para a bateria somente  $12,5 \times 7,63 = 95$  W, ou seja, 70% da energia fornecida pelo painel. Já o controlador MPPT, ao mesmo tempo em que traz a tensão para 12,5 V, eleva a corrente na mesma proporção, levando-a para 10,8 A neste caso. Assim, o controlador fornecerá  $12,5 \times 10,8 = 135$  W para a bateria, ou seja, 100% da energia produzida pelo painel. Como a eficiência dos controladores não é de 100%, essa diferença não será de 30%, como no exemplo, porém pode realmente chegar a 20 ou 25%. Para saber se vale a pena substituir um carregador PWM por um MPPT, deve-se comparar a diferença de custo dos controladores com a redução do número de painéis, já que a maior eficiência do sistema permitirá que se utilizem menos painéis.

## **5 GERADORES À DIESEL E PCH**

### **5.1 Geradores à Diesel**

Segundo a Degraus (2016) Geradores são máquinas que queimam combustível da mesma forma que o motor de um carro faz, a única diferença é que usam diesel ao invés de gasolina. O combustível diesel tem a característica marcante de queimar a uma temperatura bem mais elevada que os outros, por isso é mais eficiente e garante maior potencial ao gerador.

A Degraus (2016) diz que seu funcionamento se dá da seguinte maneira: “O ar dentro do gerador é puxado até ser comprimido, para em seguida ser injetado o diesel. Essa combinação gera um calor intenso que faz com que o combustível inflame, entre em combustão e o gerador funcione.”

## 5.2 PCH- Pequena Central Hidrelétrica

De acordo com a resolução nº 394 - 04-12-1998 da ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica *apud* Portal PCH (2016), **PCH (Pequena Central Hidrelétrica)** é toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1 MW e inferior a 30 MW. Além disso, a área do reservatório deve ser inferior a 3 km<sup>2</sup>.

O Portal PCH (2019) também relata algumas características das PCH's:

Uma PCH típica normalmente opera a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Em outras situações, as vazões são maiores que a capacidade de engolimento das máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedor. Por esse motivo, o custo da energia elétrica produzida pelas PCHs é maior que o de uma usina hidrelétrica de grande porte (UHE- Usina Hidrelétrica de Energia), onde o reservatório pode ser operado de forma a diminuir a ociosidade ou os desperdícios de água. Entretanto as PCH's são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de hidrelétrica é utilizado principalmente em rios de pequeno e médio portes que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas.

## 6 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA E RESIDÊNCIAS

Para iniciar o dimensionamento é necessário ter a média de consumo em cada residência. A agência nacional de energia elétrica (Aneel) mostra a média de consumo de energia nas residências de acordo com a tabela 1.

Tabela 1- Média de consumo de energia elétrica conferida na conta de energia elétrica.

Faixa de Consumo (média dos últimos 12 meses)	Data Limite
161 a 220 kWh	31 de maio de 2007
80 a 160 kWh	30 de setembro de 2007

Fonte: Aneel, 2007.

Apesar de ter uma média do consumo de energia, esses dados são antigos e foram realizadas várias campanhas para diminuição do consumo. Segundo o G1-Globo (2015) o consumo médio de energia elétrica em maio de 2015 foi de 166 kWh.

Dentre os valores obtidos aqui então vamos utilizar o mais alto (220 kWh) pra atender as residências, para que assim consiga-se atender de forma completa, uma vez que o sistema é isolado da rede elétrica.

Com relação à quantidade de residências determinadas para realização dos dimensionamentos será num total de 20.000 casas. O que no total para alimentar todas as residências será necessário um total de 4.400.000 kWh.

## 7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Todos os dados, fórmulas e entre outros dados utilizados para dimensionamento são baseados em duas literaturas: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos do Grupo de Trabalho de Energia Solar- GETS e no *Solar Energy- Fundamentals, Technology and Systems da Delft University of Technology*.

Para dimensionamento do sistema fotovoltaico é essencial saber a insolação média diária da cidade ou local onde o mesmo será instalado. De acordo com o item 3.1 o valor então de insolação média em São Luis, e que será adotado para dimensionar o sistema será: 5,36 kWh/m<sup>2</sup>. dia.

### 7.1 Seleção do Painel Solar

A partir dos dados obtidos o próximo passo é escolher a placa (módulo) fotovoltaica que será utilizado no sistema. Como parâmetro já estabelecido pelo projeto

a mesma a potência de pico deveria ficar entre aproximadamente 300 kW. Entre as placas encontradas no mercado foram selecionadas para possibilidade de aplicação as dispostas na tabela 2.

Tabela 2-Comparação entre painéis solares encontrados no mercado.

Comparações entre painéis solares									
<u>Fornecedor</u>	<u>Preço (R\$/uni)</u>	<u>Pot. Máx (Wp)</u>	<u>Vmpp (Volts)</u>	<u>Impp (A)</u>	<u>Isc (A)</u>	<u>Voc (Volts)</u>	<u>Dimensões (mm)</u>	<u>Marca</u>	<u>Tipo de Silício</u>
Minha Casa Solar	R\$ 1.169,00	315	36,60	8,61	9,18	45,10	1954x982	Canadian Solar	Policristalino
<b>Brasiled</b>	<b>R\$ 1.275,00</b>	<b>300</b>	<b>36,00</b>	<b>8,33</b>	<b>9,10</b>	<b>44,00</b>	<b>1950x990</b>	<b>Hilight Solar</b>	<b>Monocristalino</b>
NeoSolar	R\$ 1.069,00	250	29,80	8,39	8,92	37,60	1650x990	Yingli Solar	Policristalino

Fonte: Minha Casa Solar, 2019; Brasiled, 2019; NeoSolar, 2019.

A partir da tabela é possível perceber que a da fornecedora Minha Casa Solar tem uma potência máxima maior que a Brasiled e mais barata, contudo, a mesma tem como tipo de silício o policristalino que reduz a eficiência da placa. Portanto o painel da Brasiled foi escolhido por que atende a exigência da potência, e a diferenças dos preços entre estas e a das concorrentes não é tão grande, mas esta tem um silício monocristalino que dá um rendimento maior ao sistema.

Após determinar a placa já é possível determinar o resto do sistema. O dimensionamento será realizado para cada residência e posteriormente calculado o valor total para o número de casas. Na tabela 3 é possível perceber os valores obtidos do dimensionamento, rendimento, número de módulos necessários por residência, entre outros.

Tabela 3- Dimensionamento placa fotovoltaica por residência.

Dimensionamento por residencia		
Parâmetro	Valor	Unidades
Consumo médio de energia elétrica	220	kWh
Insolação diária	5.360	Wh/m <sup>2</sup> /dia
Módulo	valor	Unidades
Altura	1,95	módulos
Largura	0,99	módulos
Pmpp	300	Wp
Vmpp	36	V
Impp	8,33	A
Voc	44	V
Isc	9,1	A
Eficiência	15,54%	
Energia Mensal produzida por módulo	44,1	kWh
Número de módulos	5	módulos
Potência total em série	1496598639	Wp

Uma vez que se tem posse do valor da potência total em série, entre outros conjuntos de informações que estão despostos nessa tabela, é possível dimensionar os outros elementos que compõe o sistema, como a bateria e o controlador de carga. Para todo conjunto habitacional a quantidade de módulos calculada de acordo com a configuração é dada na tabela 4.

Tabela 4- Dimensionamento fotovoltaico por projeto.

<b>Dimensionamento Fotovoltaico Projeto</b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Eficiência	15,540%	
Energia Mensal Produzida por módulo	44,1	kWh
Número de Módulos	100000	módulos

## **7.2 Seleção da bateria**

O método de armazenamento de energia do sistema escolhido foi: a bateria, por ser mais conveniente, eficiente e ser encontrada facilmente no mercado. Baterias podem ser recarregáveis ou não. No caso desse sistema obviamente será utilizada uma recarregável, pois o sistema irá ser alimentado sempre que a energia gerada não estiver em uso, para que possa ser usada posteriormente. Contudo, existe uma gama de baterias que são recarregáveis, como por exemplo: Automotivas (*SLI- starting, lighting, ignition*), Tração, estacionária, entre outras. Contudo a escolhida para esse sistema será a Estacionária, por permitir flutuações no sistema.

Diante dos parâmetros calculados na seção 8.1 foi possível realizar pesquisas para encontrar um fornecedor que atendesse a demanda de potência de pico obtida com a quantidade de módulos para cada residência. Para ter uma comparação foram comparados três fornecedores e escolhido um entre estes como é possível ver na tabela 5.

Tabela 5- Seleção de baterias estacionárias.

Comparação entre baterias						
Fornecedor	Preço (R\$/uni)	Amperagem de trabalho	Tensão nominal (V)	Quant. casa	Preço Projeto	Marca
Minha casa solar	R\$ 359,00	50 Ah	15,5	2	R\$ 14.360.000,00	Bosh
NeoSolar	R\$ 399,00	70 Ah	12	2	R\$ 13.299.468,00	Freedom

Fonte: Minha Casa Solar, 2016; NeoSolar, 2019.

Como as duas baterias encontradas mais próximas de atender as especificações são as duas dispostas na tabela e ambas são estacionárias, a decisão ficou com a de preço mais barato, a grifada de amarelo.

### 7.3 Seleção do controlador de carga

Basicamente no Brasil atualmente os tipos de controladores utilizados nos sistemas fotovoltaicos são PWM (*Pulse Width Modulation*) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Os PWM são em geral mais baratos, contudo com uma eficiência mais baixa, e de forma oposta tem-se os MPPT que são mais caros, contudo possuem uma eficiência maior. Como no caso da bateria, a partir dos dados calculados é possível dimensionar o controlador de carga. Na tabela abaixo tem-se os modelos encontrados por vários fornecedores.

Tabela 6- Seleção dos controladores de carga.

Controlador de Carga				
Fornecedor	Preço (R\$/uni)	Corrente Máx (A)	Tensão Nominal (V)	Tipo
A- Neosolar	R\$ 1.259,10	40	24	MPPT
B-Neosolar	R\$ 1.399,00	30	24	MPPT
C- Minha casa solar	R\$ 879,00	20	24	MPPT
D-Minha casa solar	R\$ 489,00	30	24	PWM
E- Minha casa solar	R\$ 299,00	10	24	MPPT

Fonte: Minha Casa Solar, 2019; NeoSolar, 2019.

A seleção de apenas um modelo de controlador de carga ou o sistema ficaria subdimensionado, podendo gerar problemas para o sistema, ou superdimensionado, atenderia a demanda, contudo gastaria uma verba desnecessária. Portanto, conseguir uma quantidade que atenda a demanda e não gaste uma verba desnecessária foi realizada uma combinação dos modelos. A partir dessa combinação foi escolhida a combinação a ser aplicada, como mostra a tabela 7.

Tabela 7- Combinações e seleção dos controladores de carga.

Combinações de Controladores de carga						
Combinação	Quant do 1°	Valor Total 1°	Quant 2°	Valor Total 2°	Valor total combinação por casa	Valor total por projeto
A+E	1	1259,1	3	R\$ 897,00	R\$ 2.156,10	R\$ 43.122.000,00
B+E	2	2798	1	R\$ 299,00	R\$ 3.097,00	R\$ 61.940.000,00
C+E	3	2637	1	R\$ 299,00	R\$ 2.936,00	R\$ 58.720.000,00
D+E	2	978	1	R\$ 299,00	R\$ 1.277,00	R\$ 25.540.000,00

Desta forma a combinação escolhida foi não somente pelo valor, mas também pelo tipo de equipamento. Os equipamentos da combinação escolhidos são os de maiores rendimentos, pois são MPPT's, e a diferença entre seu valor e o valor do PWM não foi tão grande, eis o motivo da escolha.

#### 7.4 Análise econômica do projeto fotovoltaico

Para realizar a análise econômica é necessário saber o custo total do projeto, este é a soma dos custos dos componentes do sistema. Além dos componentes abordados aqui, este sistema poderia conter inversores (que transformam corrente contínua em corrente alternada), pois a saída da corrente elétrica da bateria é em forma de corrente contínua, e geralmente a utilizadas em residências é em corrente alternada. Contudo, hoje as maiorias dos eletrodomésticos possuem a opção de ser utilizados em corrente contínua. Portanto, esse sistema não será cotado com inversores, pois estes iriam apenas aumentar o tempo de retorno do investimento do projeto. Apesar dessa

tomada de decisão, foi realizado orçamento total para o investimento com e sem inversor.

Para o cálculo do retorno do investimento é necessário saber o valor da tarifa de consumo ativo para o estado do Maranhão. De acordo com a CEMAR (2019), a tarifa convencional residencial é de 0,63018 (R\$/kWh). Então, os tempos de retorno entre outros cálculos e dados necessários estão dispostos na tabela abaixo.

Tabela 8- Análise Econômica do sistema fotovoltaico.

<b>Total gasto em projeto sem inversor</b>	<b>Total gasto em projeto com inversor</b>
<b>R\$ 184.982.000,00</b>	<b>R\$ 236.902.000,00</b>
<b>Análise de Economia Média Anual Sem Inversor</b>	
Tarifa de consumo do ativo	0,63018 R\$/kWh
Compensação de crédito mensal	2.772.792,00 R\$
Compensação de crédito anual	33.273.504,00 R\$
Reajuste Tarifário médio	6,50%
<b>Tempo de retorno do investimento</b>	<b>5,56 anos</b>
<b>Análise de Economia Média Anual Com Inversor</b>	
Tarifa de consumo do ativo	0,63018 R\$/kWh
Compensação de crédito mensal	2.772.792,00 R\$
Compensação de crédito anual	33.273.504,00 R\$
Reajuste Tarifário médio	6,50%
Tempo de retorno do investimento	7,11 anos

### **7.5 Impactos Ambientais gerados por Sistemas Fotovoltaicos**

Em geral, muito se ouve que os sistemas fotovoltaicos são fontes de energia limpa, ou seja, que não geram impactos ao meio ambiente. Contudo, é preciso ir mais além da utilização do sistema, para chegar aos impactos gerados; estes são baixos, mas eles existem. Na sua fabricação, por exemplo, uma das principais matérias ao qual é composta a placa é o silício, durante sua extração, metalurgia e processo de purificação é onde se encontram um dos maiores impactos gerados pelas placas. Segundo Barbosa Filho (2016), levando em conta que os impactos podem ser gerados através do meio biótico, socioeconômico e físico, tem-se sobre o silício:

Durante a extração do silício, o impacto sobre o meio biótico é a degradação visual da paisagem; sobre o meio físico são apontados: poluição da água pela mineração; desmonte de maciços rochosos e terrosos compactados; e emissão de poeiras e gases devido à perfuração de rochas; e sobre o meio socioeconômico os ruídos e vibrações devido ao desmonte de material consolidado. Na metalurgia do silício, o impacto sobre o meio físico é devido à. No processo de purificação do silício, o impacto sobre o meio físico está ligado à emissão de Hexafluoreto de Enxofre, usado para limpar reatores, que é um potente gás de efeito estufa, além de chuva ácida; e no meio socioeconômico está ligado ao tetracloreto de silício, uma substância extremamente tóxica, que reage violentamente com a água, podendo causar queimaduras na pele, problemas no sistema respiratório e irritação dos olhos; e também ao uso de outros produtos químicos corrosivos (ácido clorídrico, sulfúrico, nítrico e fluorídrico) utilizados para remover as impurezas e materiais de limpeza de semicondutores.

Além dos impactos gerados pelo silício, existem também de acordo com Barbosa Filho (2016) os gerados pela montagem das placas, que é dado sobre o meio físico, devido ao uso de materiais como o chumbo, usado para fiação e algumas pastas de impressão, e também o uso de prata e alumínio para fazer contatos elétricos na célula.

Portanto, diante desses impactos gerados, é possível perceber que estes não são poucos e que eles devem ser levados em consideração na utilização do sistema.

## **8 SELEÇÃO DO GERADOR À DIESEL E ANÁLISE ECONOMICA**

A seleção realizada do gerador a diesel foi realizada para um modelo que pudesse atender a demanda calculada na seção 6. Portanto para tal demanda, os modelos obtidos no mercado foram os mostrados na tabela abaixo.

Tabela 9- Seleção do Gerador à Diesel.

<b>Comparações entre geradores</b>				
Gerador- Marca/País	Potência contínua do motor (KW)	Preço unitário	Unidades	Preço total
Jianghao- China	200	35.300,00	22000	776.600.000,00
Toyama- Japão	121	57.502,04	36363,64	2.090.983.272,73
<b>Aksa- Turquia</b>	<b>500</b>	<b>10.021,76</b>	<b>8800</b>	<b>88.191.488,00</b>

Fonte: Alibaba, 2019; RRMáquinas, 2019; Aliexpress, 2019.

Perante os modelos de geradores comparados na tabela 9, o escolhido foi gerador Aksa. A partir do seu valor total e do dado da tarifa de consumo mencionada no item 7.4, foi possível realizar a análise econômica para os geradores, como é possível observar na tabela 10.

Tabela 10- Análise de Economia Média Anual Gerador a Diesel.

<b>Análise de Economia Média Anual Gerador a Diesel</b>		
Tarifa de consumo do ativo	0,63018	R\$/kWh
Compensação de crédito mensal	2.772.792,00	R\$
Compensação de crédito anual	33.273.504,00 RS	R\$
Reajuste Tarifário médio	6,50%	
Tempo de retorno do Investimento	2,65	Anos

### **8.1 Impactos Ambientais gerados por Geradores a Diesel**

Assim como no caso dos impactos gerados pelos sistemas fotovoltaicos, os impactos gerados pelo diesel serão analisados tanto pela sua queima no gerador (forma direta), quanto pelos impactos gerados para a produção do óleo diesel (forma indireta). Na figura 7 é possível observar a estrutura de como ocorre essa divisão.

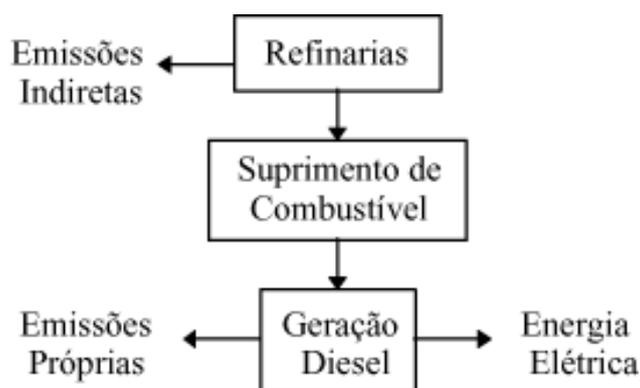


Figura 7- Estrutura de emissões de gases do óleo diesel.

Fonte: Peres (2003)

De acordo com Peres (2003) várias substâncias poluentes são emitidas para a atmosfera pelos motores que funcionam, segundo o ciclo Diesel. O mesmo ocorre no processo de elaboração deste combustível nas refinarias. Entre elas tem-se: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), Material particulado (MP) e Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Uma breve descrição de suas características e efeitos está na tabela 11.

Tabela 11- Descrição das características das substâncias geradas pelo óleo diesel.

Substância	Descrição
Monóxido de carbono (CO)	Resulta da oxidação parcial do carbono, que é regida pela quantidade de oxigênio disponível no momento da queima. A relação ar e combustível adotada pode aumentar, de maneira considerável, a quantidade de CO emitida. Esta substância é conhecida pelo seu efeito letal quando inalada, pois combina com a hemoglobina do sangue, diminuindo a capacidade de oxigenação do cérebro, do coração e de outros tecidos orgânicos. Pode provocar tonturas, dor de cabeça, sono e redução de reflexos, chegando em caso extremo, dependendo das condições de confinamento, resultar em morte. Sua ação maior é de efeito local, abrangendo áreas próximas das fontes emissoras.
Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	Resultam da combinação do oxigênio e nitrogênio presentes no ar admitido pelo motor, em condições de altas temperaturas e pressões. Os NO <sub>x</sub> podem provocar irritação e constrição das vias respiratórias, diminuem a resistência orgânica, participam do desenvolvimento do enfisema pulmonar e à semelhança dos hidrocarbonetos, se envolvem, de forma ativa, nas reações

	<p>fotoquímicas que dão origem ao "smog". O dióxido de nitrogênio em contato com o vapor d'água transforma-se em ácido nítrico podendo estar presente na chuva ácida.</p>
<p><b>Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)</b></p>	<p>Resultam da oxidação do enxofre existente no combustível. Os óxidos de enxofre se absorvidos pelo trato respiratório superior podem provocar tosse, sensação de falta de ar, respiração ofegante, rino-faringites, diminuição da resistência orgânica às infecções, bronquite crônica e enfisema pulmonar. A ação dos óxidos de enxofre ocorre a nível local, regional e continental. O dióxido de enxofre ao reagir na atmosfera propicia a formação de partículas de ácido sulfúrico e de sais de sulfato, podendo, também, participar na composição da chuva ácida.</p>
<p><b>Material particulado (MP)</b></p>	<p>É constituído de partículas diminutas, que se formam da queima incompleta dos combustíveis e de seus aditivos. Os motores à Diesel apresentam emissões de partículas de carbono, as quais servem de transporte para outras substâncias, como os hidrocarbonetos. Os particulados finos apresentam uma grave ameaça à saúde ao se instalarem nos tecidos pulmonares e podem atuar a nível local, regional e continental.</p>
<p><b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b></p>	<p>Na acepção da palavra não tem sido considerado como um poluente devido a sua baixa toxicidade. Entretanto, devido a sua intensa participação nos desequilíbrios que afetam o efeito estufa e das implicações a nível global [10], há uma atenção particular quanto a emissão desta substância que é objeto de acompanhamento e supervisão permanente por diversos organismos nacionais e internacionais.</p>

Fonte: Peres (2003), adaptado.

A quantização dos males causados por essas substâncias não serão abordados por esse estudo, contudo de acordo com o Mundo Educação UOL (2019) entre a gasolina, o diesel e o álcool, o diesel é o mais poluente. O Mundo Educação UOL (2019) também faz um breve resumo de como ele atinge os seres humanos:

Metais pesados altamente nocivos fazem parte da composição do diesel, eles se acumulam no organismo humano e, depois de alguns anos, chegam a causar até mesmo males neurológicos. Estudos revelaram que as dioxinas presentes no diesel são responsáveis por provocar as fortes dores de cabeça, distúrbios hormonais e câncer no aparelho respiratório. A própria fuligem desse combustível serve como um facilitador para as alergias nas vias aéreas.

A partir de então é possível perceber que os danos gerados pelo óleo diesel são grandiosos a todo o meio ambiente, por isso a necessidade de se reduzir seu uso, para diminuir esse tipo de impactos.

## 9 SELEÇÃO DE TURBINA PARA PCH- PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

A seleção realizada para a pequena central hidrelétrica- PCH foi baseada na escolha da turbina e na quantidade de turbinas que pudessem atender a demanda de energia calculada na seção 6. Portanto para tal demanda, os modelos obtidos no mercado foram os mostrados na tabela 12.

Tabela 12- Seleção de turbina para PCH.

<b>Turbina</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Potência</b>	<b>Preço unt. dolar</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço total Dolar</b>	<b>Preço Total Real</b>
Hidrocínética	gkintl-China	20 kW	\$1.000,00	220000	\$220.000.000,00	R\$ 776.600.000,00
Kaplan	getai/gthec-China	2500 kW	\$10.000,00	1760	\$17.600.000,00	R\$ 62.128.000,00

Fonte: Alibaba, 2019.

Perante os modelos de turbinas para PCH's comparados na tabela, o escolhido foi a turbina Kaplan. A partir do seu valor total e do dado da tarifa de consumo mencionada no item 7.4, foi possível realizar a análise econômica para os geradores, como é possível observar na tabela 13.

Tabela 13- Análise de Economia Média Anual PCH.

Análise de Economia Média Anual PCH		
Tarifa de consumo do ativo	0,63018	R\$/kWh
Compensação de crédito mensal	2.772.792,00	R\$
Compensação de crédito anual	33.273.504	RS
Reajuste Tarifário médio	6,50%	
Tempo de retorno do Investimento	1,86	anos

### 9.1 Impactos Ambientais gerados por Pequena Central Hidrelétrica

Com relação aos impactos gerados pelas PCH's é preciso antes de tudo ter conhecimento de onde a mesma será implantada, local onde será desenvolvido o projeto, conhecer melhor o que cada área possui de ambiente natural (atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera) e ambiente social (infraestrutura, material constituído pelo homem e os sistemas sociais criados), para que enfim possa se fazer uma avaliação mais específica. Contudo de forma generalizada Nilton (2009) nos diz que depois de identificados o tamanho, volume, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e localização no continuo do rio é possível identificar e quantificar os seguintes impactos:

- ✓ Inundação de áreas agricultáveis;
- ✓ Perda de vegetação e da fauna terrestres;
- ✓ Interferência na migração dos peixes; mudanças hidrológicas a jusante da represa;
- ✓ Alterações na fauna do rio;
- ✓ Interferências no transporte de sedimentos;
- ✓ Aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica;
- ✓ Perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra; problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental;
- ✓ Perda da biodiversidade, terrestre e aquática;
- ✓ Efeitos sociais por realocação.

É importante ressaltar também que todas estas alterações podem resultar de efeitos diretos ou indiretos, produzindo efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de toda a área.

Portanto, assim como com os dois outros sistemas é importantíssimo, ao tomar a decisão de utilizar uma PCH ter ciência dos impactos gerados, da proporção e dos seus efeitos em longo prazo para o meio ambiente.

## 10 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 10.1 Regiões de Possíveis Instalações do Conjunto Residencial e do Sistema

Para determinação das possíveis regiões para construção do conjunto habitacional onde serão aplicados os sistemas é necessário ter uma residência como modelo, para que esta possa ser replicada para as 20.000 casas que iram compor o conjunto. O modelo de residência adotado para o conjunto habitacional foi tido como o pelo Monte Sua Casa (2019), uma residência de 3 quartos sem suíte, um banheiro e um pavimento; de 60,67m<sup>2</sup>. Segue o modelo na figura 8.

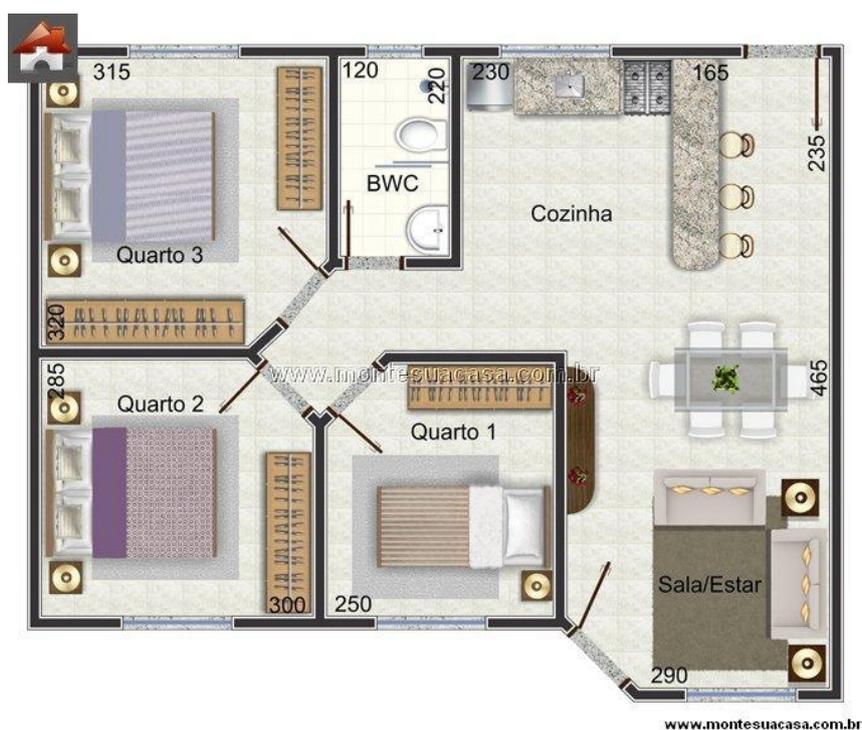


Figura 8- Modelo de residência para conjunto habitacional.

Fonte: Monte Sua Casa (2019).

Como se tem um modelo de residência é possível estimar o tamanho do local a ser construído o conjunto onde estará situado um dos sistemas aqui dimensionados. Como são no total 20.000 residências, no total precisa-se de um terreno com aproximadamente 2 km<sup>2</sup> de área. Além disso, o motivo de escolha do terreno para

construção do PCH seria preferencial que o conjunto fosse situado próximo ao rio onde será instalado o mesmo, para diminuir as perdas com transmissão de energia. Por isso, seria inviável a construção de uma PCH na ilha de São Luís, haja vista que todos os rios que cortam o município são rios de planície, ou seja, não possuem carga suficiente para o acionamento das turbinas da PCH

## 10.2 Resumo Comparativo entre Sistemas de Geração de Energia

Este capítulo irá tratar comparativamente dois tópicos tratados nos projetos já dimensionados anteriormente, onde o primeiro se refere à os custos totais dos sistemas e tempo de retorno do investimento e o segundo entre os impactos ambientais. Abaixo tem-se uma tabela com o resumo da seleção técnica realizada.

Tabela 14- Resumo de seleção técnica dos conjuntos.

Seleção Técnica					
Sistema	Componente	quant. p/ casa	Valor p/ unidade	Quant. p/ projeto	Valor total
<b>Fotovoltaico</b>					
	Placa Fotovoltaica de 300kW de 1950x990	5	1275	100000	127.500.000,00
	Bateria Estacionária de 50Ah e 15,5 V	2	359	40000	14.360.000,00
	Controlador de carga de 40 A MPPT	1	1259,1	20000	25.182.000,00
	Controlador de carga de 10 A MPPT	3	299	60000	17.940.000,00
	Total Projeto				184.982.000,00
<b>Gerador à Diesel</b>					
	Gerador à Diesel de 500 kW		10.021,76	8800	88.191.488,00
	Total Projeto				88.191.488,00
<b>PCH</b>					
	Turbina Kaplan 2500 kW		10.000,00 (dolar)	17600	62.128.000,00
	Total Projeto				62.128.000,00

Com relação ao valor do custo de projeto e tempo de retorno, a tabela 15 mostra os valores calculados nos itens anteriores. A partir dele é perceptível que o

projeto com maior custo e tempo de retorno é o sistema fotovoltaico, com aproximadamente 5 anos e meio para retorno; e com menor tempo de retorno é a PCH com aproximadamente 2 anos para retorno total do investimento.

Tabela 15- Comparativo entre projetos em custo e tempo de retorno de investimento.

<b>Comparativo entre projetos de fontes de energia</b>		
Fonte	Valor total	Tempo de retorno do investimento ( anos )
Fotovoltaico	R\$ 184.982.000,00	5,56
Gerador a Diesel	R\$ 88.191.488,00	2,65
PCH	R\$ 62.128.000,00	1,86

Os impactos ambientais gerados pelos geradores a diesel são extremamente maiores e de grande irreversibilidade se comparados com o sistema fotovoltaico. É importante lembrar que os resíduos emitidos pelo óleo diesel, são contínuos de acordos com seu uso, ou seja, com a queima do combustível para a geração da energia elétrica tem-se sempre mais emissão desses gases, dificultando assim um controle e tratamento. O PCH pode ter impactos de grandes proporções também, dependendo do local e do que será necessário para desenvolvimento do projeto.

## **11 CONCLUSÃO**

Portanto, é extremamente necessário que essa avaliação de impactos ambientais seja levada em consideração antes de existir a tomada de decisão pelo sistema que será implantado. Uma tomada de decisão baseada apenas em custos monetários é uma decisão que pode custar muito caro ao meio ambiente, e os impactos gerados podem ter um custo muito alto para serem revertidos ou amenizados. Conseqüentemente, a escolha para implantação é o sistema fotovoltaico, apesar de seu custo ser maior, ele gera menos impactos ambientais de difícil reversibilidade.

## REFERÊNCIAS

AES-Eletropaulo. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/para-sua-casa/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 19 de Abril de 2019.

AES-Eletropaulo. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/educacao-legislacao-seguranca/informacoes/conteudo/conceitos-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 23 de Maio de 2019.

ANEEL. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/boletim257.htm>>. Acesso: 17 de maio de 2019.

ALIBABA. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/product-gs/200kw-250kva->>. Acesso em: Maio de 2019.

ALIBABA. Disponível em: <[https://www.alibaba.com/product-detail/Low-Head-High-Efficiency-Axial-Flow\\_60453579076.html?spm=a2700.7724838.0.0.oIhWUK](https://www.alibaba.com/product-detail/Low-Head-High-Efficiency-Axial-Flow_60453579076.html?spm=a2700.7724838.0.0.oIhWUK)>. Acesso em: Maio de 2019.

ALIBABA. Disponível em: <[https://www.alibaba.com/product-detail/Mini-Hydro-turbine-runner-wheel-for\\_1044360540.html?spm=a2700.7724838.0.0.I9g0dp](https://www.alibaba.com/product-detail/Mini-Hydro-turbine-runner-wheel-for_1044360540.html?spm=a2700.7724838.0.0.I9g0dp)>. Acesso em: Maio de 2019.

ALIEXPRESS. Disponível em: <<http://pt.aliexpress.com/item/diesel-genset-15KW30KW->>. Acesso em: Maio de 2019.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª edição, Brasília: Aneel, 2008.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira. **Impactos Ambientais em Usinas Solares Fotovoltaicas**. Revista Techoje, **IETEC - Instituto de Educação Tecnológica**, Belo

Horizonte. Disponível em: <[http://techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/1862](http://techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1862)>. Acessado em: Abril de 2019.

BRASILED. Disponível em: <<https://www.brasiled.com.br/Painel-Solar-Hilight-300W-Monocristalino/prod-2055829/>>. Acesso em: 13 de Abril de 2019.

CAMPINAS NOSTALGICA. Disponível em: <<https://campinasnostalgica.wordpress.com/t ag/rio-atibaia/>>. Acesso em: Maio de 2019.

DEGRAUS. Disponível em: <<http://www.degraus.com.br/gerador-de-energia-a-diesel-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acessado em: Maio de 2019.

FDC - FUNDAÇÃO DOM CABRAL. Disponível em: <[http://www.fdc.org.br/hotsites/mail/li vro\\_objetivos\\_desenvolvimento\\_sustentavel/objetivo/assegurar-energia-sustentavel.html](http://www.fdc.org.br/hotsites/mail/li vro_objetivos_desenvolvimento_sustentavel/objetivo/assegurar-energia-sustentavel.html)>. Acessado em: Maio de 2019.

G1-GLOBO. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/07/consumo-de-energia-eletrica-no-pais-caiu-22-em-maio-diz-epe.html>>. Acesso em: 17 de maio de 2019.

G1-GLOBO. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2015/12/apos-chuvas-vazao-do-rio-atibaia-triplica-e-atinge-maior-marca-em-2015.html>>. Acesso em: 17 de maio de 2019.

IEA. *Key World Energy STATISTICS*. 2015. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf)>. Acessado em: Maio de 2019.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <  
<https://www.google.com.br/maps/place/Jaguari%C3%22.7363118,47.096498,3085m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94c8e80da88071f7:0x6e29a718464d3c54!8m2!3d-22.7042272!4d-46.9855088>>. Acessado em: Maio de 2019.

GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Edição Especial PRC-PRODEEM. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004.

JÄGER, K.; ISABELLA, O.; SMETS, A. H. M.; VAN SWAAIJ, R. A.C. M. M.; ZEMAN, M.. *Solar Energy- Fundamentals, Techonology and Systems*. Delft University of Techonology, 2014.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <  
<https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,idproduto,5247309,painel-solar-fotovoltaico-painel-de-205w-a-260w-caixa-com-0-2-unidades-do-painel-solar-fotovoltaico-policristalino-de-315w-canadian-solar---cs6xp-315>>. Acesso em: 13 de Abril de 2019.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <  
<https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,idproduto,3306742,bateria-estacionaria-bosch-estacionaria-bateria-estacionaria-45ah-50ah-bosch-p5-070>>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <  
<https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,idproduto,5228603,controlador-de-carga-ep-solar-controlador-de-carga-20a-12v-24v--mppt---tracer-2210a->>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <  
<https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,idproduto,4449579,controlador-de-carga-ep-solar-controlador-de-carga-30a-12v-24v--ep-solar---landstar-b---ls3024b>>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <[https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,id\\_loja,14743,idproduto,3771841,controlador-de-carga-ep-solar-controlador-de-carga-10a-12v-24v--mppt---tracer-1210rn](https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,id_loja,14743,idproduto,3771841,controlador-de-carga-ep-solar-controlador-de-carga-10a-12v-24v--mppt---tracer-1210rn)>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

MONTE SUA CASA. Disponível em: <<http://www.montesuacasa.com.br/casa/casa-3-quartos-projeto-50>>. Acessado em: Maio de 2019.

MUNDO EDUCAÇÃO UOL. **Álcool, Gasolina ou Diesel: qual é o maior poluente?**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/alcool-gasolina-ou-diesel-qual-maior-poluente.htm>>. Acessado em: Maio de 2019.

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl250p-29b-250wp.html>>. Acessado em: 13 de Abril de 2019.

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df1000-70ah-60ah.html>>. Acessado em 15 de Abril de 2019.

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-mppt-epsolar-tracer-4210a-40a-12-24v.html>>. Acessado em 15 de Abril de 2019.

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-mppt-epsolar-tracer-3215bn-30a-12-24v.html>>. Acessado em 15 de Abril de 2019.

NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-de-carga>>. Acessado em: Maio de 2019.

NILTON, Cássio Luiz. **O Impacto das Pequenas Centrais Hidrelétricas - Pchs no Meio Ambiente**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Formas Alternativas de Energia)- Universidade Federal de Lavras, 2009. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/tcccassioluizpch.pdf>>. Acessado em: Maio de 2019.

PERES, L. A. P.; NOGUEIRA, L. A. H. e TORRES, G. L.. **Impactos das emissões atmosféricas provocadas por geradores diesel em estudos de fontes de energia no meio rural**. Encontro de Energia no Meio Rural, 3, 2000, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000200007&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200007&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: Maio de 2019.

PORTALPCH. Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br/saiba-mais/o-que-e-uma-pch.html>>. Acesso em: Maio de 2019.

RRMAQUINAS. Disponível em: <<http://www.rrmaquinas.com.br/gerador-a-diesel-trif-125-kva-380v-tdmg125se3-toyama.html>>. Acesso em: Maio de 2019.

## ANEXOS

Parâmetro	Fórmula
Número de Módulos	Consumo médio de energia elétrica/Energia Mensal Produzida por módulo
Potência total em serie	Número de Módulos/Pmpp