



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

YOGE SARMENTO BATISTA

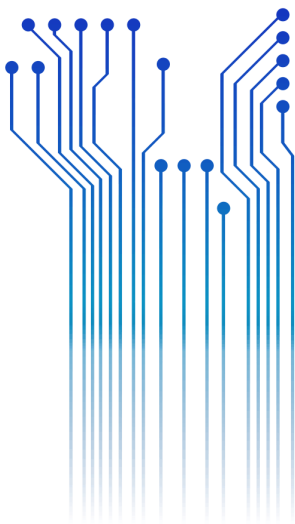


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS DE UM  
AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2016

YOGÉ SARMENTO BATISTA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS DE UM  
AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Unidade Acadêmica de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da  
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:  
Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande  
2016

YOGE SARMENTO BATISTA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS DE UM  
AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Professor Convidado

**Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que de todas as formas vem sendo meu porto seguro e meu guia em toda minha vida.

Agradeço a meus pais Francisco Alves Batista e Maria Sarmento Batista, meus irmãos Yuri Sarmento Batista e Rúlio Thiago Sarmento Batista, que me apoiaram e deram suporte para conclusão de mais uma etapa difícil em minha vida.

A minha noiva Andreza Sousa Andrade que desde o começo dessa etapa da minha vida vem me apoiando e sendo compreensiva sem medir esforços.

Agradeço também aos meus amigos pelo o apoio e esforços para conclusão desse momento tão importante.

Agradeço ao meu orientador Tarso Villela Ferreira por ter aceitado me orientar e pela contribuição com o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do DEE, por exercerem tão bem sua função e contribuindo para minha formação acadêmica e pessoal.

Enfim, agradeço a todos que indiretamente ou diretamente contribuíram para a formação da pessoa que sou hoje.

## RESUMO

As energias renováveis estão ganhando mais espaço no mercado brasileiro, devido aos desafios que se apresentam frente à sazonalidade das chuvas e o a crescente demanda. A solução atualmente empregada é o uso de energia térmica, o que impacta nas tarifas de energia e, conseqüentemente, no orçamento do brasileiro. Com o intuito de economizar, muitos têm feito uso de sistemas comerciais de aquecimento solar de água, contudo, tais sistemas são acessíveis a determinadas parcelas da população, especialmente as chamadas camadas econômicas C, D e E. Como uma solução de compromisso, surgem os aquecedores solares de água caseiros ou artesanais, que empregam materiais comuns e tem custo bastante reduzido, chegando a 25 % do valor de um equivalente comercial. Apesar de não possuírem o mesmo desempenho térmico, os aquecedores artesanais se propõem a solucionar o problema de aquecimento de água residencial. Neste contexto, este trabalho se insere com o propósito de avaliar o impacto energético de um sistema artesanal de aquecimento solar de água em uma residência.

**Palavras-chaves:** energias renováveis, coletores solares caseiros, aquecimento solar de água, baixo custo, eficiência energética.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Energias renováveis. ....	11
Figura 2- Concentrador torre central. ....	14
Figura 3 - Placa fotovoltaica.....	15
Figura 4 - Funcionamento do sistema solar térmico. ....	16
Figura 5 - Matriz energética brasileira ..... 19	19
Figura 6 - Capacidade global anual de fotovoltaica. ....	20
Figura 7 - Reservatório térmico.....	21
Figura 8 - Coletor Solar Soletrol. ....	22
Figura 9 - Funcionamento do coletor solar comercial.....	22
Figura 10 - coletor solar com tubos de PVC ..... 23	23
Figura 11 - Caixa d'água revestida com isopor. ....	24
Figura 12 - Interligação dos “T” de PVC para formar as barras. ....	26
Figura 13- Coletor Solar.....	27
Figura 14 - Reservatório térmico para aquecedor solar de baixo custo.....	28
Figura 15 - Reservatório térmico revestido com isopor. ....	28
Figura 16 - Alocação do projeto.....	30
Figura 17 - Folhas de isopor sob o coletor solar.....	30
Figura 18 - Furo na telha de fibrocimento para encaixe da barra.....	31
Figura 19 - Pregos nas ripas do telhado.....	32
Figura 20 - Projeto água morna instalado.....	32
Figura 21 - Histograma de consumo (kWh). ....	34
Figura 22 – Gráfico da temperatura atingida versus os dias analisados.....	36
Figura 23 - Tempo de retorno descontado.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empreendimentos em operação.....	17
Tabela 2 - Empreendimentos em Construção.....	17
Tabela 3- Empreendimentos com Construção não Iniciada .....	18
Tabela 5 - Redução do consumo em porcentagem.....	35
Tabela 6 - Valor economizado em reais.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AIE	Agência Internacional de Energia
PVC	Policloreto de Vinil



# SUMÁRIO

1	Introdução .....	10
1.1	Energias renováveis .....	10
1.2	Objetivos .....	11
1.2.1	Objetivo Geral .....	11
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	Estrutura do texto.....	12
2	Embasamento teórico.....	13
2.1	A Energia Solar.....	13
2.1.1	Energia Solar Heliotérmica .....	13
2.1.2	Energia Solar Fotovoltaica .....	14
2.1.3	Energia Solar Térmica.....	15
2.2	Matriz Energética Brasileira .....	16
2.3	Energia solar pelo mundo .....	19
2.4	Aquecedor Solar Comercial.....	21
2.5	Aquecedor Solar Caseiro .....	23
3	Projeto Executado .....	25
3.1	Material.....	25
3.2	Construção do Protótipo .....	26
3.2.1	Coletor solar .....	26
3.2.2	Construção do Reservatório Térmico.....	27
3.2.3	Detalhes da Instalação .....	29
4	Resultados.....	34
4.1	Verificação da Temperatura da Água .....	35
4.2	Economia Energética .....	36
4.3	Tempo de Retorno .....	37
5	Conclusão.....	38
	Referências Bibliográficas.....	39

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações do mundo hoje em dia é a geração de energia elétrica e seu impacto ambiental. No Brasil, onde o sistema elétrico é predominante hidroelétrico, a preocupação é ainda maior devido grande dependência de chuva para a geração de energia elétrica. Com essas preocupações as energias renováveis vêm ganhando espaço no mercado mundial, dentre estas a de maior em destaques são as fontes de energias eólica e solar. No ano de 2014, as energias renováveis responderam por quase metade de todas as usinas construídas no mundo, segundo relatório da Agência Internacional de Energia (AIE).

No mundo, a energia renovável apresenta elevado crescimento, tendo em vista os problemas ambientais. No Estados Unidos, um grande incentivo para geração de energia renovável é a vantagem fiscal e a meta obrigatória do país. Na Alemanha a promessa é que até 2022 o país irá desativar as usinas nucleares, sendo necessário um aumento das fontes renováveis na matriz energética do país.

Este trabalho tem como objetivo destacar a importância das energias renováveis, com ênfase na energia solar, como uma fonte de qualidade e sendo financeiramente compensador e tem por finalidade a construção de um aquecedor solar de água, avaliando o impacto energético e financeiro numa residência com três moradores.

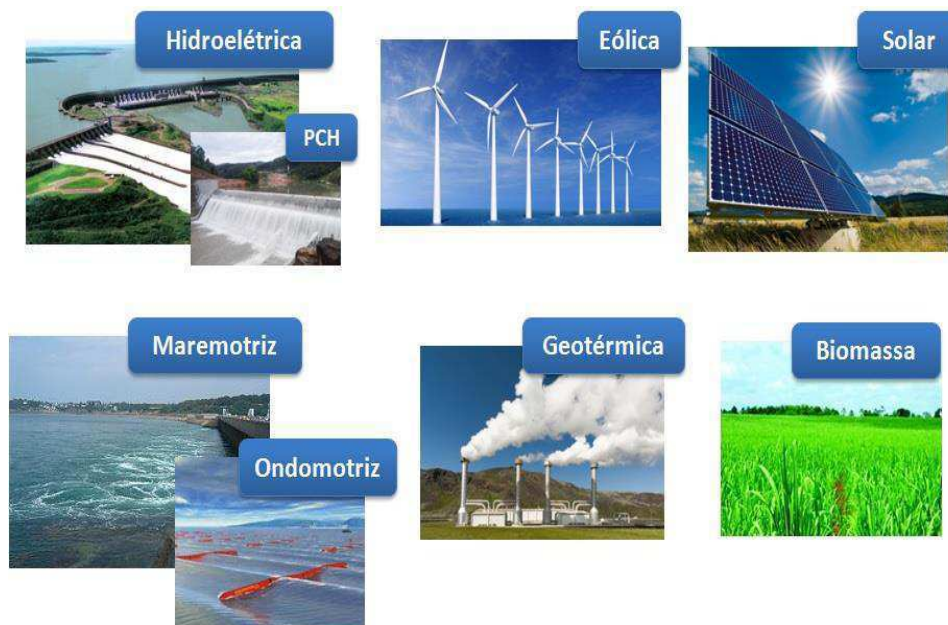
## 1.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As fontes de energias renováveis se definem pela capacidade que têm de se reestabelecer naturalmente, em curto prazo. Apesar de serem virtualmente inesgotáveis, são limitadas na questão da quantidade de energia que é possível extrair em curto prazo. São exemplos de energias renováveis, a solar, a eólica, das ondas, a hidráulica, a biomassa, energia geotérmica e das marés, como pode-se verificar na Figura 1.

Dentre suas principais vantagens, a fonte de energia renovável é menos perigosa que a energia nuclear, e o impacto ambiental é muito menor que os impactos causados pelas fontes de energia com origem nos combustíveis fósseis. Porém como desvantagem podemos citar os custos elevados de investimentos e infraestruturas, além do impacto

visual negativo no meio ambiente, dentre outras desvantagens que cada tipo de energia renovável em específico possui.

Figura 1- Energias renováveis.



Fonte: Neosolar, 2016.

## 1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo fazer avaliação do impacto na conta de energia residencial fazendo uso de um sistema de aquecimento de água com coletores solares caseiros de baixo custo.

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Aprofundar o conhecimento sobre a energia solar, analisando suas vantagens e desvantagens. Estimular a população para uso do aquecedor solar de baixo custo, possibilitando a economia de energia elétrica em suas residências.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificação do funcionamento do projeto, observando a eficiência do coletor em que se diz respeito a temperatura da água. Análise do coletor solar, verificando se o projeto será viável para o proprietário através do resultado do tempo de retorno do projeto.

## 1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

Primeiramente o trabalho faz uma breve introdução sobre a energia renovável no Brasil e no mundo mostrando a necessidade e o desenvolvimento de alguns países. Também faz uma introdução sobre o que é energia renovável, aprofundando o leitor sobre o assunto.

No capítulo 2 são apresentados conceitos sobre a energia solar e será apresentado um panorama geral das energias renováveis no Brasil e pelo mundo. Falando um pouco sobre os aquecedores solar disponíveis no mercado e apresentando diferenças entre eles.

No capítulo 3 deste trabalho é apresentado o projeto que servirá de estudo para este trabalho, explicando a montagem e a instalação de um protótipo de aquecedor solar caseiro de baixo custo.

O capítulo 4 mostra os resultados obtidos na análise do protótipo, verificando sua eficiência e viabilidade.

E por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste Capítulo serão apresentados conceitos e conhecimentos básicos para o entendimento do tema do trabalho, além de ser disponibilizado um panorama geral das energias renováveis na atualidade.

### 2.1 A ENERGIA SOLAR

A energia solar tem por finalidade converter a luz solar em energia elétrica ou térmica. Sua aplicação pode ser dividida em dois tipos: energia solar ativa e passiva. A primeira pode ser do tipo solar heliotérmica, solar térmica ou fotovoltaica. A solar passiva se resume às aplicações na arquitetura da energia solar.

#### 2.1.1 ENERGIA SOLAR HELIOTÉRMICA

A energia solar heliotérmica se baseia na conversão da irradiação solar em calor para geração de energia elétrica. Espelhos são usados em seu processo para refletir a luz solar diretamente para um ponto fixo, que possui um receptor. A tecnologia usada nesse processo pode ser o cilindro parabólico, disco central ou torre central.

Com objetivo ilustrativo, apresenta-se na Figura 2 uma fotografia de uma usina heliotérmica de torre central. Este processo centraliza a irradiação solar num receptor localizado no alto da torre. Este receptor absorve a radiação e converte em calor, que será conduzido através de um fluido térmico para o gerador de vapor da usina, localizado na base da torre.

Figura 2- Concentrador torre central.



Fonte: Ecodesenvolvimento, 2016.

### 2.1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os sistemas fotovoltaicos convertem diretamente a energia solar em elétrica através das células fotovoltaicas, utilizando partículas negativamente carregadas. Este processo é chamado “efeito fotovoltaico”. Eles se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons (faixa de valência) e de outra totalmente “vazia” (faixa de condução). Entre estas duas faixas se encontra a faixa proibida ou hiato energético (Renata Pereira Braga, 2008). Este efeito ocorre quando a luz solar é absorvida pela célula fotovoltaica, por meio dos seus fótons, e a energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que passam a ganhar velocidade, consequentemente gerando corrente elétrica. O material mais utilizado hoje em dia é o silício. Entretanto este tipo de material não possui elétrons livres, com isso acrescenta-se porcentagens de outros materiais para transformá-lo em célula fotovoltaicas. Na Figura 3 podem-se visualizar placas fotovoltaicas.

Figura 3 - Placa fotovoltaica.



Fonte: Mundo Água, 2016.

### 2.1.3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar térmica tem como objetivo gerar calor, seja para aquecimento de água residencial, processo de secagem ou aquecimentos em indústrias. No caso do uso para residências, as placas coletoras podem ser feitas em serpentina de cobre interligada a uma superfície que possui alta absorção de energia luminosa que aquecerá a água. Variações desta topologia são admitidas no sentido de reduzir-se o custo da instalação, muitas vezes empregando soluções artesanais implementadas pelo próprio proprietário da residência.

O funcionamento desse sistema começa pelo recebimento da luz solar nos painéis solares, que devem ter baixo coeficiente de reflexão, absorvendo o máximo possível da energia luminosa e transformando-a em calor. Este calor acumulado deve então ser transferido para a água que circula em tubos instalados tão próximo quanto possível dos coletores (em geral logo atrás dos mesmos). A água aquecida segue então para um reservatório térmico. A fim de aumentar ainda mais a eficiência do sistema, toma-se proveito de um fenômeno físico chamado termossifonagem, o qual permite que a água menos quente do reservatório circule em direção aos painéis, enquanto a água quente dos painéis retorna para o reservatório. O princípio do fenômeno é a convecção natural, dado que a água mais quente é menos densa que a água fria, consequentemente ocasionando o direcionamento da água quente para o reservatório térmico. O funcionamento do sistema é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Funcionamento do sistema solar térmico.



Fonte: HOT SOL, 2016.

## 2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil é um país com geração predominantemente hidrelétricas, por possuir vastos rios propícios para sua construção. Segundo ANEEL, até o mês de março de 2016, o Brasil possuía 203 usinas hidrelétricas com potência outorgada de 89.490 MW e potência fiscalizada de 87.065 MW, correspondendo assim 61,12% da matriz elétrica que se encontra em operação. Possuía ainda 10 empreendimentos em construção com potência outorgada de 13.456 MW. Há ainda 6 hidrelétricas com construção não iniciadas com potência outorgada de 629 MW.

Nas termelétricas o Brasil possui 2.885 empreendimentos em operação com uma potência outorgada de 41.288 MW e potência fiscalizada 39.535 MW. Em construção, o Brasil possui 13 unidades com potência outorgada de 1.370 MW. Há ainda 135 empreendimentos com as construções não iniciadas, com potência outorgada de 7.569 MW. Podemos verificar esses entre outros dados na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.



Tabela 1 - Empreendimentos em operação.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
<b>CGH</b>	554	425.675	427.579	0,3
<b>EOL</b>	354	8.643.268	8.590.800	6,03
<b>PCH</b>	457	4.841.977	4.825.445	3,39
<b>UFV</b>	38	26.933	22.933	0,02
<b>UHE</b>	203	89.490.541	87.065.958	61,12
<b>UTE</b>	2.885	41.288.415	39.535.230	27,75
<b>UTN</b>	2	1.990.000	1.990.000	1,4
<b>Total</b>	4.493	146.706.809	142.457.945	100

Fonte: ANEEL, 2016.

Tabela 2 - Empreendimentos em Construção

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
<b>CGH</b>	1	848	0
<b>EOL</b>	128	3.018.754	15,34
<b>PCH</b>	35	485.621	2,47
<b>UHE</b>	10	13.456.242	68,37
<b>UTE</b>	13	1.370.039	6,96
<b>UTN</b>	1	1.350.000	6,86
<b>TOTAL</b>	188	19.681.504	100

Fonte: ANEEL, 2016.

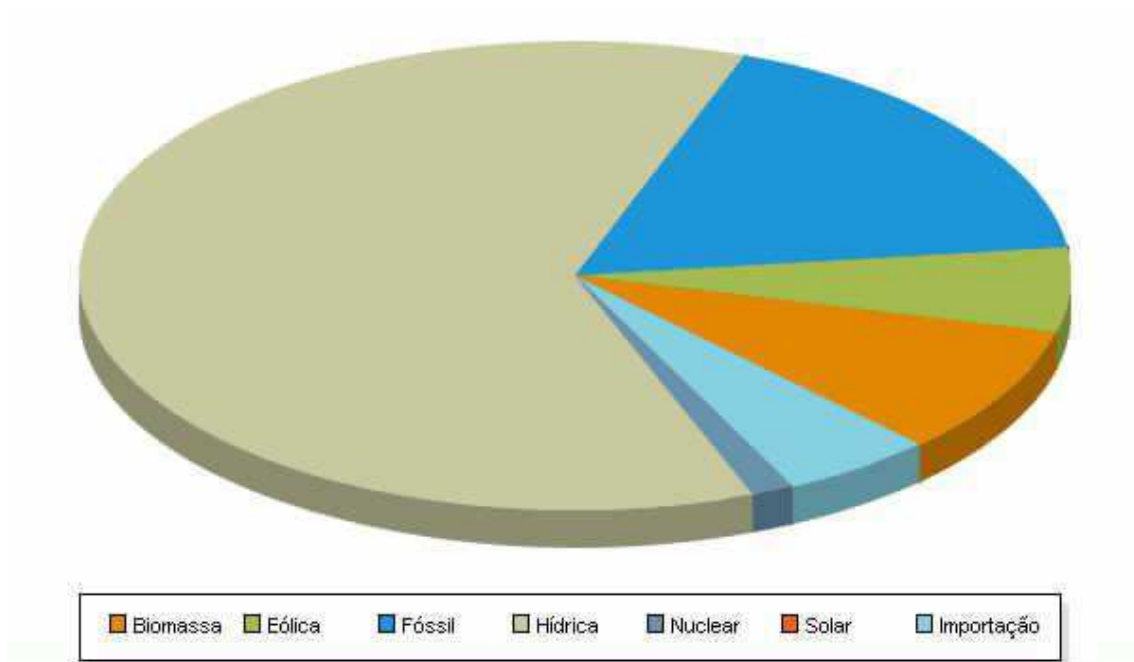
Tabela 3- Empreendimentos com Construção não Iniciada

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
CGH	41	30.279	0,17
CGU	1	50	0
EOL	248	5.935.050	33,36
PCH	124	1.776.376	9,98
UFV	65	1.851.645	10,41
UHE	6	629.000	3,54
UTE	135	7.569.098	42,54
<b>Total</b>	<b>620</b>	<b>17.791.498</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2016

Com exceção da energia hidrelétrica, as energias renováveis ainda possuem pouco espaço na matriz elétrica brasileira, porém já apresentam grande crescimento com os novos empreendimentos. As outras fontes de energia do Brasil vêm da queima de derivados de petróleo em 1.176 usinas com capacidade instalada de 7.628 MW ou 5,92%, da queima de biomassa em 481 com capacidade instalada de 11.555 MW ou 8,43%, da queima de carvão mineral em 13 usinas com capacidade de 3.389 MW ou 2,47%, de 2 usinas nucleares com capacidade de 1.990 MW. Estas informações são sintetizadas no gráfico Figura 5.

Figura 5 - Matriz energética brasileira



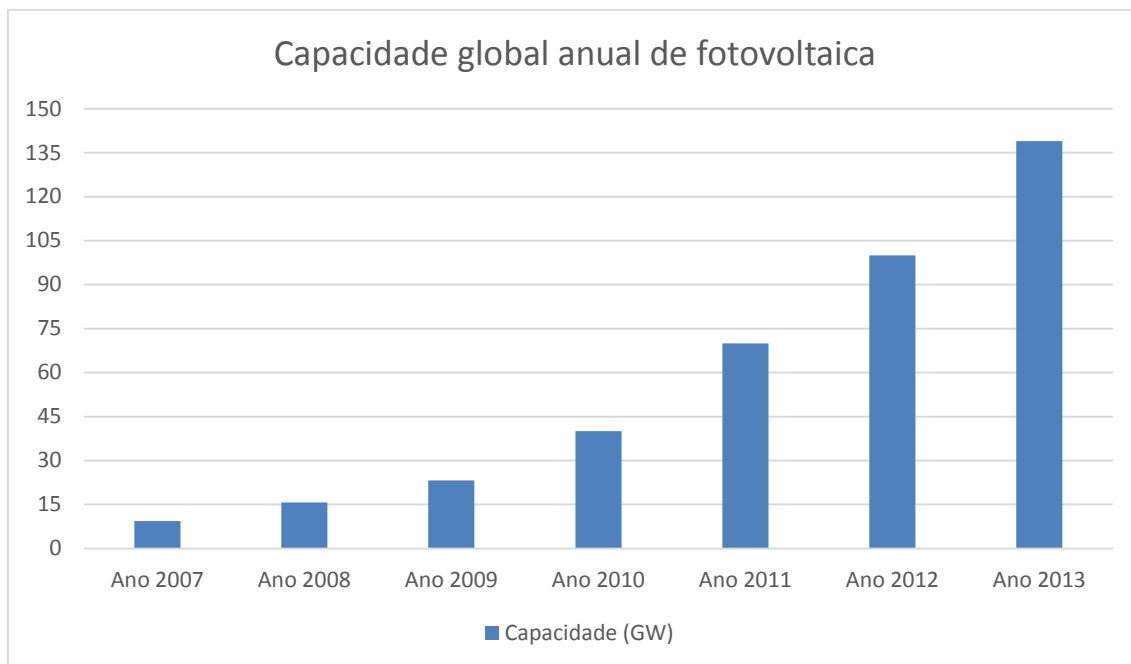
Fonte: ANEEL, 2016.

A porcentagem da energia solar ainda é muito pequena em relação as outras energias, sendo apenas de 0,0152% na matriz energética brasileira, que corresponde a 22.933 kW de capacidade instalada.

### 2.3 ENERGIA SOLAR PELO MUNDO

A energia fotovoltaica tem conquistado um grande espaço no mercado mundial desde a intensificação dos problemas ambientais. Em 2013 esse tipo de fonte superou a marca de 139 GW de capacidade instalada. Este valor equivale a 160 TWh de eletricidade por ano, que corresponde ao consumo energético de 45 milhões de casas europeias. Pode-se verificar a evolução da energia fotovoltaica na Figura 6.

Figura 6 - Capacidade global anual de fotovoltaica.



Fonte: América do Sol, 2016.

Segundo o Relatório Estado Global das Renováveis 2014, produzido pela REN 21, o mercado fotovoltaico alcançou um recorde em 2013, com a entrada em operação de 139 GW. Os cinco países que mais contribuíram para esse crescimento foram a Alemanha, China, Itália, Estados Unidos e Japão.

A Alemanha manteve a liderança no mercado mundial de geração de energia fotovoltaica, sendo responsável por 31% do mercado global em 2012.

A China fez um grande investimento nas energias renováveis, com um valor aproximadamente de 67 bilhões de dólares no ano de 2012, sendo que 24,7 bilhões foram encaminhados para energia solar.

A Itália é responsável por 16% da produção global em energia solar, conseguindo assim 16,3 GW em capacidade instalada. Em 2012 os investimentos feitos nessa área foram de 14,1 bilhões de dólares.

Um dos países que iniciou essa caminhada de investimentos em tecnologia fotovoltaica foram os Estados Unidos. Apesar dessa grande iniciativa, os Estados Unidos em 2012 ocuparam o quarto colocado no ranking que mais investiram, representando 7% do mercado mundial com 7,7 GW de potência instalada. O país ainda possui programas de incentivos fiscais que visam crescimento maior nos próximos anos.

Sendo o quinto maior investidor em 2012, o Japão teve um aumento de 56% nos investimentos em projetos de pequeno porte, obtendo assim 7% do mercado mundial em energia fotovoltaica.

## 2.4 AQUECEDOR SOLAR COMERCIAL

A comercialização de aquecedores solares no Brasil está em grande crescimento, sendo comercializados por várias empresas, que na maioria dos casos fabricam os próprios coletores e reservatórios térmicos.

Os reservatórios térmicos mais acessíveis têm capacidade de cerca de 200 litros, e possuem revestimento interno de aço inoxidável. O isolamento entre a parte externa e interna do reservatório é de poliuretano sem CFC (clorofluorcarboneto). Um destes reservatórios (também muito conhecidos como *boilers*) pode ser observado na Figura 7.

Na maioria dos casos, o coletor solar possui um sistema de fechamento com cantoneiras termoplásticas, com aletas de captação em alumínio e revestidas com uma pintura que aumenta a absorção dos raios solares. Sua tubulação interna é feita de cobre, com um revestimento de poliuretano sem CFC (clorofluorcarboneto). A parte superior possui cobertura de vidros lisos, vedados com borracha de silicone. Na Figura 8 pode-se observar a fotografia de um coletor solar de um fabricante nacional.

Figura 7 - Reservatório térmico.



Fonte: Soletrol, 2016.

Figura 8 - Coletor Solar Soletrol.



Fonte: Soletrol, 2016.

O sistema de um aquecedor solar comercial basicamente é este que foi apresentado, mudando algumas características dependendo da empresa contratada, podemos visualizar seu funcionamento Figura 9.

Figura 9 - Funcionamento do coletor solar comercial.



Fonte: Soletrol, 2016.

O valor depende da necessidade do cliente, variando basicamente na quantidade de coletores e o tamanho do reservatório térmico. Uma regra geral empregada é alocarem-se no sistema aproximadamente 70 litros por usuário. Os modelos mais acessíveis têm custo aproximado de R\$ 1.500,00, não incluída a instalação.

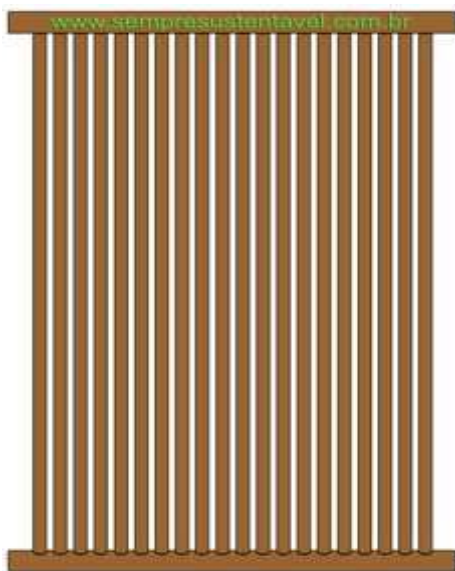
## 2.5 AQUECEDOR SOLAR CASEIRO

O aquecedor solar de água caseiro é uma alternativa econômica frente ao aquecedor comercial. Considerando-se que o uso final em uma residência vise o emprego da água quente para o banho, a alternativa de ter uma eficiência mais baixa em troca de uma grande redução nos custos de aquisição e instalação pode ser atraente.

Além disso, a troca da água quente fornecida pelo chuveiro elétrico pela água do aquecedor solar representa economia em longo prazo. O sistema artesanal beneficia-se dos mesmos princípios físicos do sistema comercial, contudo, substitui a maioria dos materiais caros do sistema comercial por materiais mais baratos e de fácil aquisição no mercado.

Existem diversas propostas de topologias de sistemas de captação solar publicadas, compostos desde tubos de PVC até coletores feitos inteiramente de material reciclado. Um exemplo de coletor construído com é construído tubos de PVC em paralelo pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - coletor solar com tubos de PVC.



Fonte: Sempre Sustentável, 2016.

O reservatório empregado geralmente é uma caixa d'água de plástico com um revestimento externo de material isolante térmico (geralmente isopor), a exemplo do reservatório cuja fotografia é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Caixa d'água revestida com isopor.



Fonte: Sempre Sustentável, 2016.

Abaixo é apresentado um comparativo entre as topologias de aquecedor solar comercial e a versão caseira.

#### Aquecedor Solar Caseiro

##### Vantagens:

- Menor custo de material;
- Menor custo de instalação/manutenção;
- Material de fácil acesso;
- Não requer uso de tubulação específica para água quente;
- Tempo de retorno menor.
- Não requer misturador.
- O reservatório não reage com sais da água.

##### Desvantagens:

- Menor eficiência energética;
- Menor temperatura final da água;
- O aquecimento da água pode não ser suficiente em dias mais frios ou longos períodos sem sol.

#### Aquecedor Solar Comercial

##### Vantagens:

- Maior eficiência energética;
- Maior temperatura final da água (o que amplia a gama de aplicações);
- O aquecimento da água geralmente é suficiente mesmo em dias mais frios ou longos períodos sem sol.

##### Desvantagens:

- Maior custo de material;
- Maior custo de instalação/manutenção;
- Material de difícil acesso;
- Requer instalação de nova tubulação, específica para água quente.
- Tempo de retorno maior.
- Requer misturador.



### 3 PROJETO EXECUTADO

A residência onde foi construído e instalado o projeto piloto está localizada na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba. As premissas básicas do projeto de coletor solar executado foram: custo final reduzido (incluindo instalação); fazer uso de material de fácil acesso para sua construção. O conceito geral foi inspirado em modelos de aquecedores solares caseiros propostos em sites da internet. Nas seções a seguir serão apresentados material e método de montagem.

#### 3.1 MATERIAL

O material necessário para a construção do protótipo montado para viabilizar a execução deste trabalho (capacidade de 200 litros) é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Material necessário para a construção do protótipo.

Item	Quantidade
Tubos de água soldável PVC (25 mm) com 6 metros de comprimento	6
Telhas de fibrocimento	3
Bombona de plástico de 200 litros	1
Conexão “T” soldável de 25 mm	74
Tinta asfáltica impermeabilizante	1 galão
Folhas de isopor	20
Conexão do tipo “joelho” de 90° soldável 25 mm	6
Adaptadores com flange de 25 mm	3
Barras rosqueadas de aço carbono de 1 m com porcas e arruelas	12
Cola para tubos de PVC (100 g)	1
Lixas grão 120 para parede	10
Mangueira cristal para suspiro	5 m
Bicos para conexão da mangueira a “T”	2
Válvulas tipo esfera (25 mm) para isolamento do reservatório (manutenção)	4

Fonte: autoria própria.

Naturalmente, a depender das distâncias e posições dos itens constituintes do projeto, o material pode sofrer alguma variação. Neste caso, o valor total do material foi de R\$ 475,00. Adicione-se ao custo total o custo com um ajudante, que recebeu R\$ 100,00 por uma diária de serviço, totalizam-se R\$ 575,00.

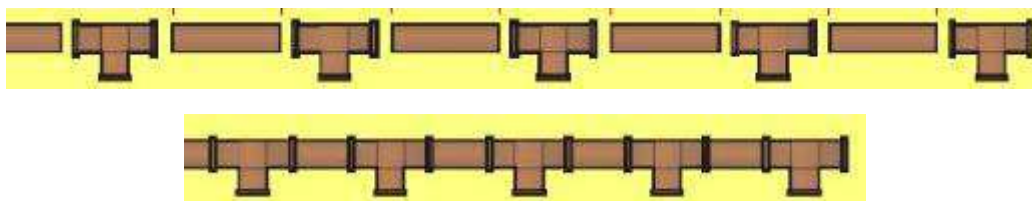
## 3.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesta seção serão brevemente apresentados os métodos para a construção dos componentes do protótipo.

### 3.2.1 COLETOR SOLAR

O primeiro passo para a construção do coletor é unir a tubulação por onde circulará a água. Esta tubulação, ao final da montagem, ficará posicionada entre as telhas de fibrocimento e as placas de isopor. A fim de se montar a “grade” de tubos, é necessário unirem-se vários “T” de PVC, formando-se, assim, as barras inferior e superior da “grade”. Cada barra será composta por 37 “T” interligados entre si, totalizando assim aproximadamente 3 m de comprimento. A conexão se dá conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Interligação dos “T” de PVC para formar as barras.



Fonte: Globo, 2016.

Para interconectar os “T”, são empregados pequenos pedaços dos tubos de PVC de 25 mm. Para fazer a interligação das barras inferior e superior do coletor é necessário cortar os três tubos de 6 metros em barras do mesmo tamanho e, em seguida, colar uma extremidade da barra no “T” da barra inferior e a outra no “T” da barra superior, repetindo esse procedimento até finalizar todos os “T”, como mostrado na Figura 13.

Figura 13- Coletor Solar



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.2 CONSTRUÇÃO DO RESERVATÓRIO TÉRMICO

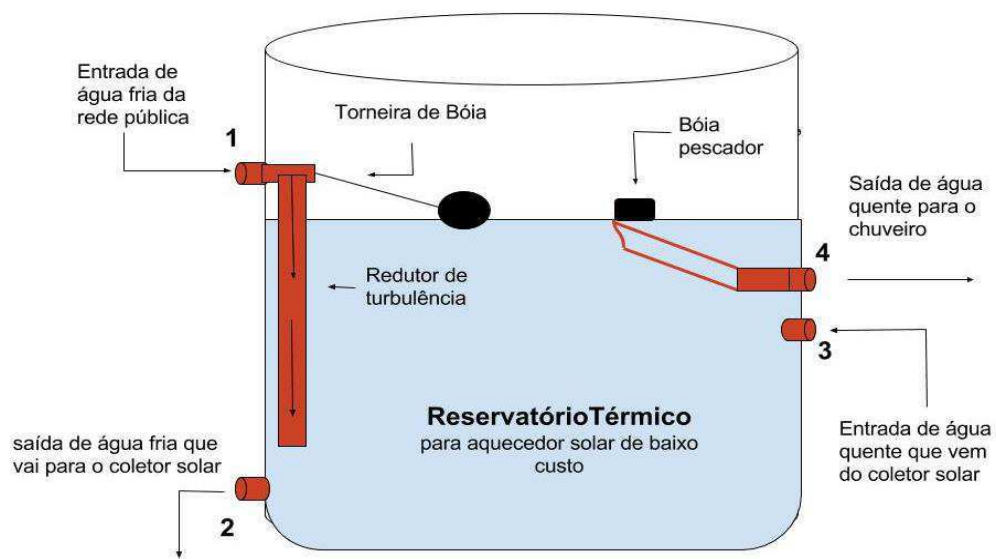
O reservatório utilizado foi um bombona de plástico com capacidade de 200 litros, originalmente empregada para transporte de azeitonas. Foi necessário fazer-se 4 furos na bombona para realizarem-se as devidas entradas e saídas da água, a saber:

- i. Entrada da água da caixa d'água original da residência (rede pública);
- ii. Saída da água fria que vai para o coletor solar;
- iii. Entrada da água quente que vem do coletor solar;
- iv. Saída da água quente para o chuveiro.

Na saída da água quente para o chuveiro, pelo lado de dentro do reservatório, foi instalada uma mangueira com uma boia na ponta. Esta estrutura é chamada “pescador”, e sua função é garantir que a água que sai para o banho seja sempre do topo reservatório (região em que fica a água mais quente).

Na entrada da água da rede pública foi instalada uma válvula do tipo boia, igual às que são comumente instaladas em caixas d'água, com o objetivo de evitar o transbordo do reservatório durante o processo de enchimento. Na saída desta válvula tipo boia foi instalado um redutor de turbulência, constituído de uma mangueira que garante que toda a água nova que entra no sistema (água fria) seja injetada no fundo do reservatório, região em que naturalmente já há água mais fria. Na Figura 14 observa-se o esquema do reservatório térmico de baixo custo.

Figura 14 - Reservatório térmico para aquecedor solar de baixo custo.



Fonte: Sempre Sustentável, 2016.

O reservatório térmico do protótipo foi revestido termicamente por folhas de isopor, a fim de garantir algum isolamento térmico, conforme pode-se observar na Figura 15.

Figura 15 - Reservatório térmico revestido com isopor.



Fonte: autoria própria.

### 3.2.3 DETALHES DA INSTALAÇÃO

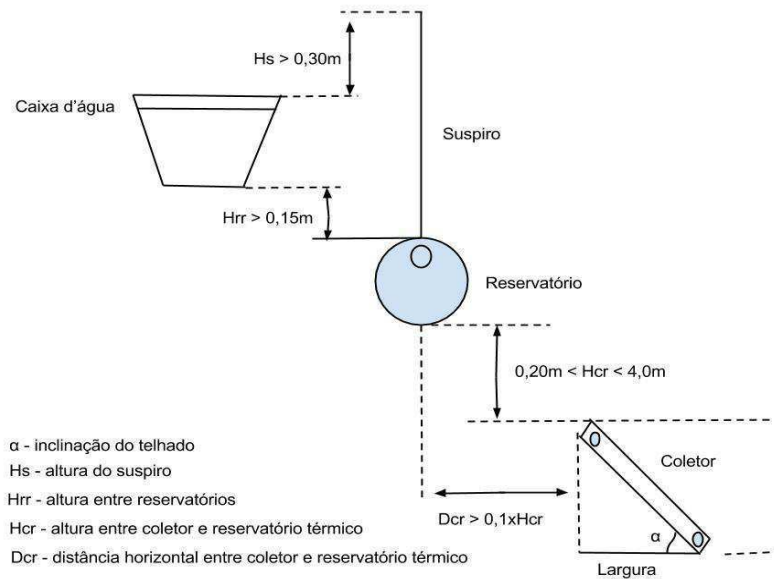
É necessário que o coletor esteja numa inclinação entre a latitude da cidade em que o projeto será instalado e a latitude do mesmo mais 10° graus. Caso o telhado não possua inclinação entre os valores mencionados, se faz necessário um suporte para o coletor, colocando o mesmo na inclinação desejada. No caso deste projeto não foi necessário a construção de um suporte, visto que o telhado da residência possui uma inclinação de 7° 37', valor este que está entre 7° 13' e 17° 13' como especificado anteriormente.

Uma vez finalizadas as montagens da grade do coletor e do reservatório, foram realizadas as alocações das partes constituintes do coletor em seus locais finais de operação. Respeitando a distância mínima necessária para o funcionamento do sistema, o coletor precisa ficar a uma distância verticalmente entre os valores de 0,20 metros e 4 m do reservatório térmico e horizontalmente de 10% da distância vertical do coletor (Hcr).

Depois de verificar esses valores o reservatório térmico pode ser instalado, mas também é necessário observar a distância do reservatório térmico e a caixa d'água da residência. Alocar numa altura abaixo da caixa d'água de pelo menos 0,15 m e possuir um suspiro maior que 0,30 metros acima da caixa d'água. Observando que não existe uma distância horizontalmente especifica entre o reservatório térmico e a caixa d'água.

Podemos conferir esse procedimento na Figura 16, a seguir.

Figura 16 - Alocação do projeto.



Fonte: Autoria própria.

Antes da instalação do coletor no telhado, foram colocadas folhas de isopor em cima da madeira que dá sustentação à estrutura do telhado, de forma que a grade viesse a repousar sobre as folhas de isopor. A função do isopor é manter o calor das telhas (citadas a seguir) pelo maior tempo possível junto aos tubos, além de minimizar a propagação este calor para dentro da residência, o que poderia causar desconforto térmico. A disposição das placas de isopor sob a grade pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 - Folhas de isopor sob o coletor solar.



Fonte: autoria própria.

Durante o processo de instalação da “grade” do coletor solar percebeu-se que é mais prático montar parcelas de 1 m da grade, a fim de facilitar o transporte e a subida do conjunto no telhado, para só posteriormente conectarem-se todas as partes a fim de formar-se a “grade” completa.

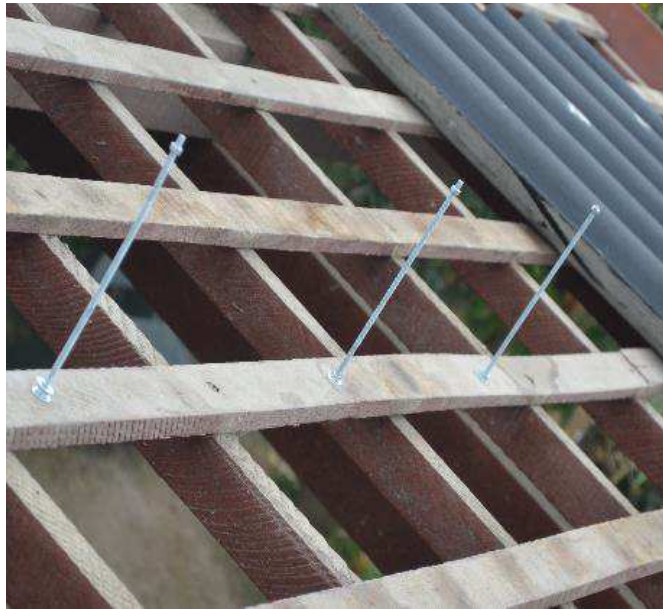
Após a acomodação da grade sobre as placas de isopor, foram colocadas as telhas de fibrocimento que foram anteriormente pintadas com tinta asfáltica. A fixação do conjunto nas madeiras do telhado foi feita com as barras rosqueadas, juntamente com as porcas e arruelas. Detalhes da fixação da telha de fibrocimento com o telhado podem ser vistos na Figura 18 e na Figura 19.

Figura 18 - Furo na telha de fibrocimento para encaixe da barra.



Fonte: autoria própria.

Figura 19 - Pregos nas ripas do telhado.



Fonte: autoria própria.

Após a fixação das telhas, o aspecto final do coletor é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Protótipo instalado.



Fonte: autoria própria.

A interconexão entre o coletor e o reservatório deve obedecer ao sentido do fluxo da água na termossifonagem. A saída de água fria do reservatório (saída mais baixa) deve conectar-se à entrada de água fria do coletor (tubo da barra de baixo), enquanto que a saída de água quente do coletor (barra de cima) deve conectar-se à entrada de água quente do reservatório. Nestes dois tubos de conexão recomenda-se, ainda, a instalação de suspiros em seus pontos mais altos, a fim de permitir a saída do ar que eventualmente venha a se instalar dentro do circuito. Caso o circuito de termossifonagem tenha alguma bolha de ar, a termossifonagem não ocorrerá.



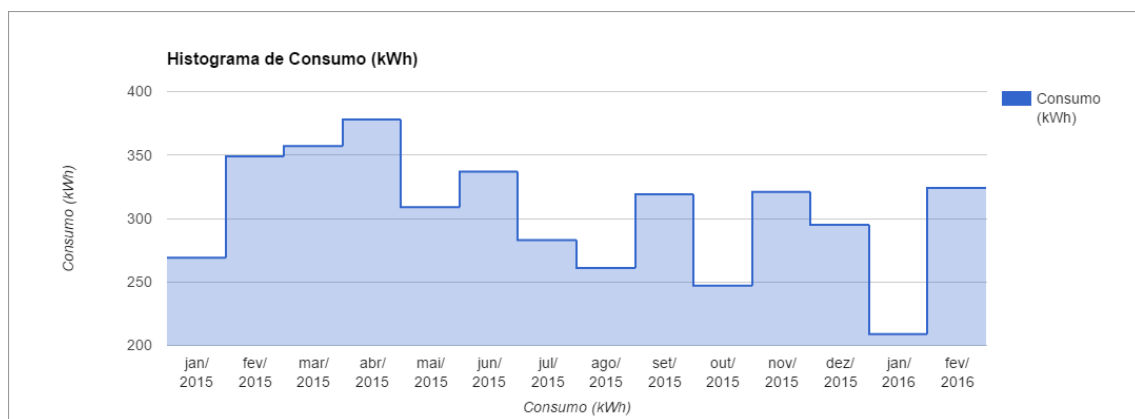
Para facilitar a manutenção do sistema, recomenda-se a instalação de válvulas em todas as saídas do reservatório, permitindo-se assim o seu isolamento. Outra boa prática é a instalação de conexões do tipo “união” nos dois tubos que interconectam o coletor ao reservatório, o que permite a rápida desconexão dos dois.

Finalizada a instalação e uma vez cheio o reservatório com água do fornecimento local, percebeu-se que a temperatura do reservatório estabilizou após aproximadamente 48 horas.

## 4 RESULTADOS

O protótipo foi finalizado no fim de fevereiro de 2016, e por este motivo, o período de análise dos resultados foi de apenas três meses. Podemos visualizar na Figura 21 o histograma do consumo do ano de 2015 até o mês de fevereiro de 2016.

Figura 21 - Histograma de consumo (kWh).



Fonte: autoria própria.

De posse dos valores de consumo do ano de 2015 e dos valores medidos de consumo com o projeto em funcionamento em 2016, podemos obter a redução em porcentagem do consumo em kWh, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Redução do consumo em porcentagem.

Mês/Ano	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Redução
<b>Janeiro</b>	269	209	-
<b>Fevereiro</b>	349	324	-
<b>Março</b>	357	314	12,04%
<b>Abril</b>	378	336	11,11%
<b>Mai</b>	309	280	9,39%
<b>Junho</b>	337	-	-
<b>Julho</b>	283	-	-
<b>Agosto</b>	261	-	-
<b>Setembro</b>	319	-	-
<b>Outubro</b>	247	-	-
<b>Novembro</b>	321	-	-
<b>Dezembro</b>	295	-	-

Fonte: autoria própria.

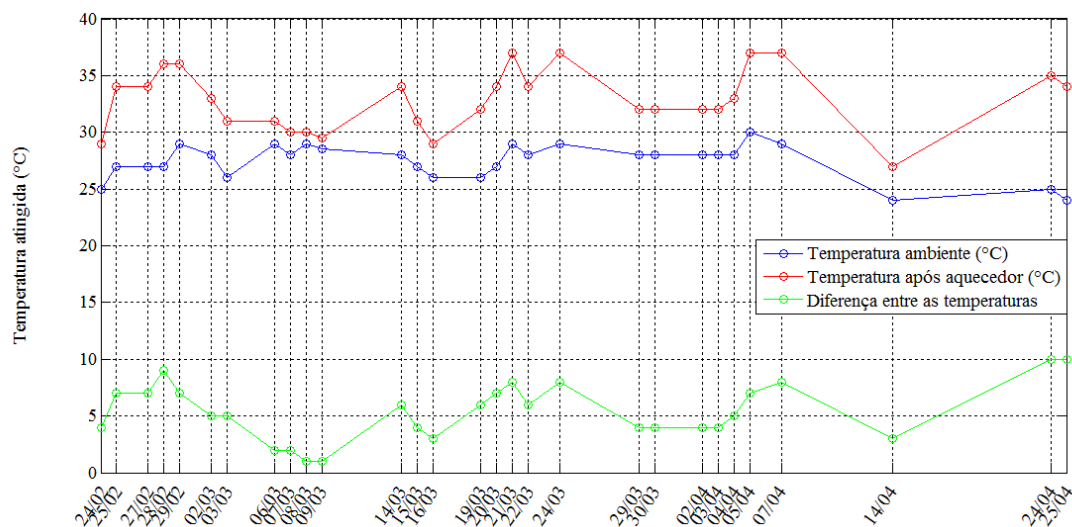
Em março de 2016 houve uma redução de 43 kWh, equivalente a 12,04% de redução. No mês de abril houve uma redução de 42 kWh, que corresponde a 11,11% de redução do consumo. No último mês verificado teve uma baixa de 29 kWh, que equivale a 9,39% de redução do consumo.

#### 4.1 VERIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA

Um ponto importante no projeto é a verificação da temperatura da água, tanto para o funcionamento do sistema quanto para uma noção de sua eficiência. Do ponto de vista do funcionamento do sistema, é importante que a temperatura da água não ultrapasse os 70°C, pois a partir desta temperatura os fabricantes das tubulações e conexões de PVC não garantem o bom funcionamento de seus produtos.

Depois da instalação do protótipo, a temperatura da água no chuveiro foi verificada e comparada com a temperatura ambiente da água. Na Figura 22 pode-se observar ilustra gráfico com os valores destas temperaturas registradas.

Figura 22 – Gráfico da temperatura atingida versus os dias analisados.



Fonte: autoria própria.

Pode-se verificar o aumento da temperatura da água depois da passagem pelo coletor, mostrando assim o funcionamento eficaz do coletor solar. Observa-se ainda que em dias de chuva a eficiência do coletor não é tão significativa, como podemos verificar nas datas 6, 7, 8 e 9 de março.

## 4.2 ECONOMIA ENERGÉTICA

Um ponto importante para o desenvolvimento do projeto é conhecer em quanto tempo o consumidor passará a ter retorno financeiro sob o valor investido. Para obter o tempo de retorno do projeto é necessário saber a tarifa de energia cobrada pela concessionária local e a redução na conta de energia que o projeto ocasionou.

Tomando como base o valor da tarifa cobrado pela Energisa Borborema nos meses em que o projeto foi analisado, foi possível verificar de quanto foi a economia na conta de energia após o investimento no protótipo.

Nos meses de março, abril e maio o valor cobrado pela Energisa Borborema foi de R\$ 0,44601/kWh. Fazendo uso do consumo reduzido de 2016 e considerando apenas o valor pela energia (desconsiderando taxa, impostos e encargos), podemos obter a redução do consumo em reais, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Valor economizado em reais.

Mês	Valor da Energia (R\$/kWh)	Redução do Consumo (kWh)	Valor Economizado (R\$)
<b>Março</b>	0,44601	43	19,18
<b>Abril</b>	0,44601	42	18,73
<b>Mai</b>	0,44601	29	12,93

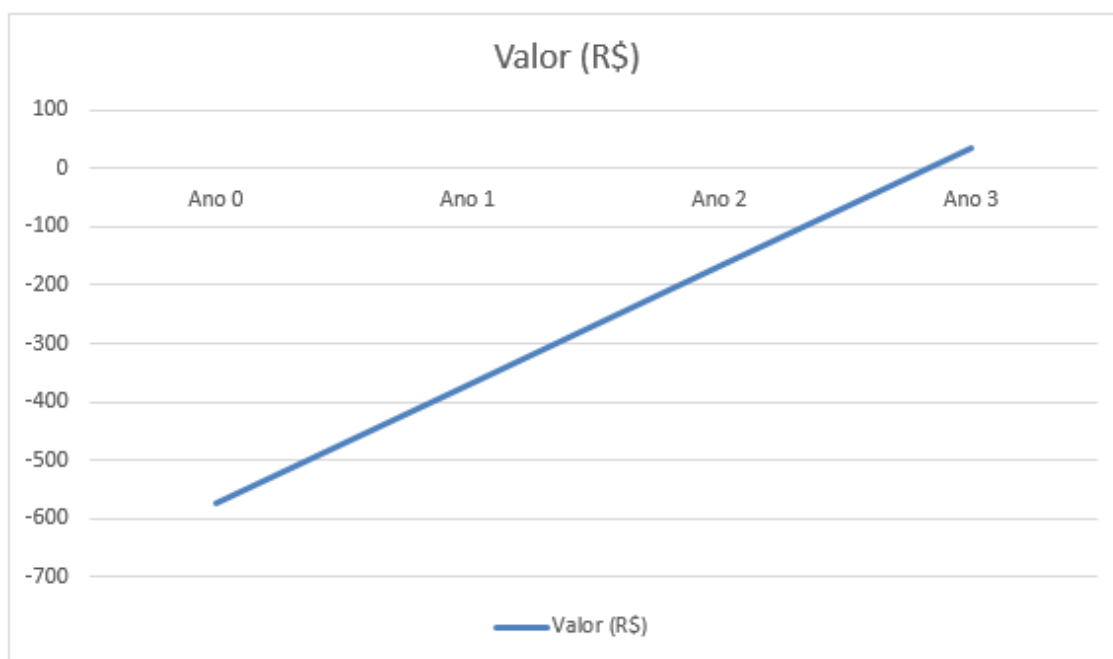
Fonte: autoria própria

### 4.3 TEMPO DE RETORNO

Com base nos valores obtidos, visando facilitar os cálculos, tomamos como base a média de economia dos três meses para uma expectativa futura. O valor encontrado foi de R\$ 16,95.

Como já foi citado, o valor total do projeto foi de R\$ 575,00, logo concluímos que será necessário um período de 34 meses, ou seja, cerca de 2 anos e 10 meses para que o consumidor passe a ter o retorno financeiro do que foi investido no projeto, conforme a Figura 23.

Figura 23 - Tempo de retorno descontado.



Fonte: autoria própria.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar de ter poucos meses de análise do protótipo, o que dificultou ter um resultado mais detalhado dos impactos do projeto, pôde-se verificar o bom funcionamento do sistema e sua eficiência.

A residência possui um sistema elétrico auxiliar de aquecimento para dar um suporte no aquecimento da água, em caso de dias chuvosos. Um sistema é colocado no chuveiro para ajustar continuamente a temperatura.

Os aquecedores solares são surpreendentemente pouco utilizados no Brasil, em especial os de construção artesanal. Poderiam propiciar grande economia de energia, contudo há limitada divulgação e incentivo.

A efficientização energética, sempre bem-vinda, em especial frente às tarifas de energia atualmente cobradas, motiva a divulgação e a implementação de protótipos como o que foi aqui apresentado, e cujo impacto energético foi quantitativamente apresentado.

O protótipo obteve êxito em seus objetivos, já que foi verificado um tempo de retorno baixo para um valor de projeto acessivo. Visando principalmente as classes C, D e E da sociedade brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Energia Solar**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:  
< [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) >.  
Acesso em: março de 2016.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:  
< <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >.  
Acesso em: março de 2016.

Braga, R. P. (2008). **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro.

Ecodesenvolvimento. **Plataforma On-line reúne informações sobre tecnologia Heliotérmica**. Disponível em:  
<<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2015/maio/plataforma-on-line-reune-informacoes-sobre>>.  
Acesso em: fevereiro de 2016.

Energisa. **Tipos de Tarifas**. Disponível em:  
<<http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>.  
Acesso em: abril de 2016.

EPE. **Programa de Investimentos em Energia Elétrica (PIEE) 2015 – 2018**. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em:  
<<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20PIEE%20pdf.pdf>>.  
Acesso em: março de 2016.

Globo Educação. **Aprenda a Construir um Aquecedor Solar com Material Reciclável**. Disponível em:  
<<http://redeglobo.globo.com/globoeducacao/noticia/2013/07/aprenda-construir-um-aquecedor-solar-com-material-reciclavel.html>>.  
Acesso em: Abril de 2016.

HOT SOL. **Aquecedores Solares**. Disponível em:  
< <http://aquecedoressolares.webnode.com/>>.  
Acesso em: Março de 2016.

Mundo Água. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em:  
< <http://www.mundoagua.com.br/blog/energia-fotovoltaica/> >.  
Acesso em: março de 2016.

Neosolar. **Energias Renováveis ou Energias Alternativas**. Disponível em:  
<<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energias-renovaveis-ou-energias-alternativas>>.

Acesso em: Março de 2016.

Sociedade do Sol. **Manual de Manufatura e Instalação Experimental do – ASBC – Aquecedor Solar de Baixo Custo**. Disponível em:  
<<http://www.sempresustentavel.com.br/solar/aquecedor/manual-do-aquecedor-solar-com-tubos-de-pvc-v1-2.pdf>>.

Acesso em: março de 2016.

Super Sustentável. **Aquecedor solar de Água**. Disponível em:

<<http://www.sempresustentavel.com.br/solar/aquecedor/aquecedor-solar.htm>>.

Acesso em: Fevereiro de 2016.

Soletrol. **O que é e como Funciona o Aquecedor Solar de Água Soletrol**.

Disponível em:

<<http://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>.

Acesso em: maio de 2016.

Soletrol. **Produtos Soletrol**. Disponível em:

<<http://www.soletrol.com.br/produtos/>>.

Acesso em: março de 2016.