



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

CHRYSS FERREIRA MACÊDO

**CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE COLETOR DE BAIXO CUSTO
EM PALMAS - TO.**

PALMAS – TO

2015

CHRYSS FERREIRA MACÊDO

**CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE COLETOR DE BAIXO CUSTO
EM PALMAS - TO.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski
Júnior

PALMAS – TO

2015

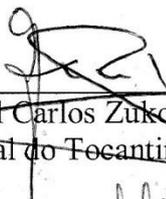
FOLHA DE APROVAÇÃO

CHRYSS FERREIRA MACÊDO

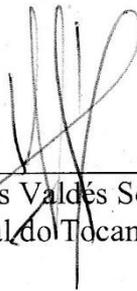
CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO
EM PALMAS-TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

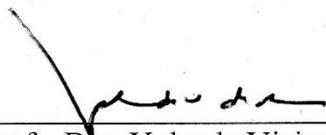
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Jr
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra
Universidade Federal do Tocantins



Profa. Dra. Yolanda Vieira de Abreu
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em: 29 de outubro de 2015

Local de defesa: Sala 35 do bloco III

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M141c Macêdo, Chryss Ferreira .
CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO COLETOR DE BAIXO CUSTO EM
PALMAS - TO. / Chryss Ferreira Macêdo. – Palmas, TO, 2015.
85 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
Profissional em Engenharia Ambiental, 2015.
Orientador: Joel Carlos Zukowski Júnior
1. Aquecedor solar. 2. Energia Renovável. 3. Avaliação econômica. 4.
Tecnologia social. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Dedicatória

Em memória de
Mariana Cristina e Edgar Macêdo,
filha e pai amados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente ao Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior que possibilitou a realização deste trabalho, com orientação, ensinamentos, confiança e amizade durante todo o nosso convívio.

Aos professores Dr. Juan Carlos Valdés e Yolanda Vieira de Abreu, pelos conselhos, por gentilmente aceitar em participar da banca.

Aos professores do Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental pelos ensinamentos e estímulos.

A Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, na pessoa do Sr. Olímpio Mascarenhas por incentivar e ter permitido meus afastamentos para cumprimento das disciplinas.

Aos estagiários Vital Wilker Rocha Araújo, Murilo Siqueira Martins, Elisa Alves Azevedo Valentin dos Santos e Barbara da Silva Vieira pela dedicação, trabalho e muitas risadas.

Aos amigos Alexandre Braga e Nécio de Carvalho pelas horas “extras” de discussões e orientações.

A minha mãe Lúcia Maria Ferreira, por sempre acreditar em meu potencial.

Aos mais importantes em minha vida, que tanto sofreram, incentivaram e estiveram ao meu lado por mais este degrau, Julio Cesar Barreto Moreira e Anakin Ferreira Moreira, a vocês devo o que sou e a mais esta conquista.

*“Para fazer alguma coisa, é necessário querer muito.
Para querer apaixonadamente, é necessário acreditar
com loucura.” (Regis Debray)*

RESUMO

O Brasil enfrenta, atualmente, um problema sério entre disponibilidade e demanda de energia, em parte pela melhoria do padrão de vida de algumas classes e o alto consumo da população. Esse consumo desenfreado traz como consequência uma preocupação constante na produção de energia em grande escala. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010), cerca de 77% da energia elétrica gerada no país é fornecida por usinas hidrelétricas, devido à política governamental e o grande potencial hídrico do Brasil. O chuveiro elétrico é um dos itens dentre os eletrodomésticos que possui maior participação no consumo residencial, de 25 a 35% do total do gasto segundo a EPE (2012). Calcula-se que o chuveiro consome de 6,2 a 8,7% da energia produzida no país, sendo também responsável por 18% da demanda de pico do sistema elétrico (Rodrigues e Matajs, 2004). A aplicabilidade do aquecedor solar ecológico como tecnologia social, neste contexto, torna-se viável para a implantação em residências de baixa renda, pois propicia economia de energia elétrica e melhoria da qualidade de vida simultaneamente. Em Palmas - TO não existem estudos que mostram o desempenho deste tipo de sistema. Este estudo analisou um sistema de baixo custo composto por coletor solar feito de tubos de PVC rígido comercial, caixa de leite longa vida e garrafas PET para uma família de três pessoas nas condições ambientes de Palmas - TO. Os resultados mostraram que é possível obter uma economia de até 33,27% na substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor. O aquecedor solar alcançou a temperatura de 53° C, demonstrando sua eficiência térmica na utilização de materiais alternativos e de fácil acesso. Com um investimento inicial de implantação de R\$ 286,36 e custo de manutenção de R\$ 5,00/mês, apresentou uma economia de R\$ 79,20/mês, confirmando a viabilidade econômica na implantação e utilização.

Palavras – chave: Aquecedor solar. Energia Renovável. Avaliação econômica. Tecnologia social.

ABSTRACT

Brazil faces currently a serious problem between availability and demand for energy, in part by improving the standard of living of some classes and the high consumption of the population. This unbridled consumption brings about a constant concern in energy production on a large scale. According to the National Electric Energy Agency (ANEEL, 2010), about 77% of the electricity generated in the country is provided by hydroelectric plants due to government policy and the great hydroelectric potential of Brazil. The electric shower is one of the items from the appliance which has increased participation in residential consumption, 25-35% of total spending according to EPE (2012). It is estimated that the shower consumes 6.2 to 8.7% of the energy produced in the country, also accounting for 18% of the electric system peak demand (Rodrigues e Matajs, 2004). The applicability of ecological solar heater as social technology in this contest, it becomes feasible for implementation in low-income households, as it enables energy saving and improving the quality of life simultaneously. Palmas-TO there are no studies that show the performance of this type of system. This study analyzed an inexpensive composed of solar collector made of PVC commercial hard pipe system, long life and PET bottles milk carton for a family of three people in Palmas-TO ambient conditions. The results showed that it is possible to obtain savings of up to 33.27% in replacing the electric shower by the heater. The solar heater reaches the temperature of 53 C, demonstrating its thermal efficiency in the use of alternative materials and easily accessible. With an initial investment of R\$ 286.36 deployment and maintenance cost of R\$ 5.00 / month, showed a savings of R\$ 79.20 / month, confirming the economic viability of the deployment and use.

Key - words: Solar heater. Renewable energy. Economic evaluation. Social technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz energética mundial comparativa dos anos 2012 e 1973.	21
Figura 2- Capacidade instalada (MW) fotovoltaica cadastrada no LER 2014.	24
Figura 3: Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m ² .dia).	25
Figura 4: (a) – Coletor fechado. (b) – Coletor aberto. (c) – Coletor de tubo evacuados.	27
Figura 5- (a) - Aquecedor Solar de Baixo Custo. (b) - Aquecedor Solar de água com tubos de pvc. (c) - Aquecedor Solar de água com garrafas pet.	29
Figura 6- Sistema de Circulação Natural (Termossifão) – Coletor convencional.	29
Figura 7- Posição do coletor convencional. O ângulo de inclinação mínima (α).	30
Figura 8- Sistema de Circulação Natural (Termossifão) – Coletor não convencional.	30
Figura 9- Ilustração do processo de aquecimento do aquecedor pelos raios solares.	31
Consumo = (potência em watt/1000) x (tempo) número de horas=total em KWh (10)	36
Figura 11- Ilustração do Aquecedor solar de garrafa PET.	40
Figura 12 – apresentação do corte inferior da garrafa pet.	41
Figura 13 - marcação e corte longitudinal.	42
Figura 14 - marcação e corte medial.	42
Figura 15 - pintura das caixas e canos de PVC.	44
Figura 16 - Amostra de corte e lixa da peça de 10 cm.	45
Figura 17 - Amostra de corte e lixa da peça de 1,10 cm.	45
Figura 18 – Preservação da faixa de encaixe dos canos para as conexões.	46
Figura 19 - Materiais necessários para montagem do coletor.	46
Figura 20 - Modelo de montagem e colagem do coletor inferior.	47
Figura 21 - Modelo de montagem e encaixe do coletor inferior.	47
Figura 22 - Processo construtivo do “esqueleto” do coletor.	48
Figura 23 - Montagem e encaixe das garrafas pet no “esqueleto” do coletor.	48
Figura 24 - Montagem e encaixe das caixas longa vida no “esqueleto” do coletor.	49
Figura 25 - Apresentação do processo de encaixe e montagem do “esqueleto” do coletor.	49
Figura 26 - Demonstração do processo de perfuração do fundo da última garrafa.	50
Figura 27 - Demonstração do processo de corte superior da última garrafa.	50
Figura 28 - Encaixe e aspecto final da 6ª garrafa.	50
Figura 29 - Fechamento do coletor.	51
Figura 30 - Em destaque demonstração da fixação e isolamento superior.	51
Figura 31 - Aspecto final do coletor.	52
Figura 32 - Máquina de prensa e em detalhe do procedimento de prensagem.	52
Figura 33 - Materiais para confecção e perfuração do caps.	53
Figura 34 - Detalhes do selamento e encaixe do tubo de cobre.	53

Figura 35 - Colagem das conexões e material para calafetar a conexão.	53
Figura 36 - Detalhes da selagem com silicone e aspecto final do poço de medição de temperatura.	54
Figura 37 - Detalhes dos poços de medição de temperatura superior e inferior.	54
Figura 38 - Montagem da ligação de passagem de água fria.	55
Figura 39 - Montagem da ligação de passagem de água quente.	55
Figura 40 - Apresentação da circulação da água dentro e fora.	55
Figura 41 - Montagem e aspecto final do suporte do coletor.	56
Figura 42 - A fixação do coletor ao telhado. Disponível em: http://www.kisol.com.br/ .	56
Figura 43 - Ilustração da inclinação do coletor para o município de Palmas – TO.	57
Figura 44 - Demonstração da marcação e corte do reservatório.	58
Figura 45 - Materiais e procedimento de montagem da tampa do reservatório.	58
Figura 46 - Aspecto final da confecção da tampa do reservatório.	58
Figura 47 - Materiais para montagem do reservatório.	59
Figura 48 - Procedimento de perfuração do reservatório, de maneira oposta, um furo superior e outro inferior.	59
Figura 49 - Processo de fixação do flange ou adaptador para caixa d'água.	60
Figura 50 - Aspecto final da montagem das conexões. Fonte: Elaborado pela autora.	60
Figura 51 - Aspecto da caixa de leite após cortes de abertura.	61
Figura 52 - Antes e depois da colagem das caixas de leite com o uso do ferro de passar roupa.	61
Figura 53 - Manta e reservatório aguardando preenchimento interno.	62
Figura 54 - Caixas coladas com ferro. Segunda etapa, caixas unidas e coladas no sentido longitudinal com auxílio da pistola de cola quente (revestimento interno).	62
Figura 55 - Montagem e aplicação do revestimento interno.	63
Figura 56 - Montagem e aspecto final do revestimento externo do reservatório.	63
Figura 57 - Aspecto final do aquecedor.	64
Figura 58 - Diferença de altura do coletor para o reservatório.	64
Figura 59 - Medidas gerais do protótipo do aquecedor solar ecológico.	65
Figura 60 - Procedimentos construtivos do sistema de isolamento dos tubos de cobre.	65
Figura 61 - Procedimentos de leitura do aquecedor solar ecológico.	66
Figura 62 – Apresentação dos pontos de leitura do aquecedor solar e reservatório.	67
Figura 63 - Valores de temperatura do Aquecedor Solar, com período de intervalo de hora/hora do dia 14/08/2014.	68
Figura 64 - Valores de temperatura do Aquecedor Solar, com leituras de 09/13/17h do dia 14/08/2014.	69
Figura 65 - Valores da média geral do Aquecedor Solar, com leituras de 09/13/17 h.	70
Figura 66 – Oficina construtiva do modelo do aquecedor solar em Guaraí com acadêmicos da FAG – Faculdade de Guaraí – 2013.	74
Figura 67 – Apresentação do modelo do aquecedor solar a alunos de escolas públicas do ensino médio na Semana do Meio Ambiente – Palmas/TO, 2013.	74

Figura 68 – Conjunto de fotos de oficinas construtivas do modelo do aquecedor solar realizadas com professores nos municípios de Gurupi, Guaraí, Tocantinópolis e Araguaína – 2013.	75
Figura 69 – Manual de construção passo a passo do Aquecedor Solar.	76
Figura 70 –Manual aprendendo como fazer um aquecedor solar.	77

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial, em destaque o Estado do Tocantins.	26
Tabela 2 - Tarifas da Classe de Consumo Residencial no Tocantins.	27
Tabela 3 – Classificação da circulação de água associada ao volume de água diário.....	32
Tabela 4 - Orçamento para construção do sistema de aquecimento de água da chuva para uma família de 03 (três) pessoas.	71
Tabela 5 – Apresentação dos cálculos para a avaliação econômica do aquecedor solar.	72
Tabela 6 – Análise comparativa de investimento entre Aquecedor convencional e o ecológico.	72
Tabela 7 – Análise de investimento comparativo entre aquecedor solar convencional e ecológico.....	73

NOMENCLATURA

A_c	Área da placa coletora (m^2)
CFt	Cash-Flow total no ano t
C_p	Calor específico do fluido. (kJ/kgC)
D	Diâmetro do tubo interno (m)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
F_R	Fator de remoção de calor da placa coletora
I	Taxa de radiação solar incidente na superfície da placa coletora (W/m^2)
IN	Investimento inicial
I_o	Cash-Flow do investimento Inicial
L	Comprimento da superfície absorvedora do tubo interno (m)
m	Fluxo de massa do fluido (kg/s)
N	Número de tubos do coletor
PR	Período de recuperação
Q	Energia térmica (Wh)
\dot{Q}_u	Calor útil transferido para o fluido circulante (W/s)
S	Radiação solar absorvida pelo coletor
T_a	Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
T_i	Temperatura do fluido que entra no coletor ($^{\circ}C$)
T_{maior}	Temperatura máxima do reservatório no final do período ($^{\circ}C$)
T_{menor}	Temperatura mínima do reservatório no início do período ($^{\circ}C$)
T_o	Temperatura do fluido que sai do coletor
U_L	Coefficiente global de perdas de calor da placa coletora ($W/m^2^{\circ}C$)
VP	Valor presente
α	Absortância da superfície “negra” da placa (decimal)
τ	Transmitância da cobertura de vidro (decimal)
$(\tau\alpha)_e$	Produto transmitância-absortância efetivo (decimal)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	GERAL	19
2.2	ESPECÍFICOS	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1	BREVE HISTÓRICO DA ENERGIA NO MUNDO	20
3.1.1	<i>Usos da Energia Solar</i>	<i>22</i>
3.1.2	<i>A Energia Solar no Brasil</i>	<i>23</i>
3.1.3	<i>A Energia Solar no Tocantins</i>	<i>25</i>
3.2	MODELOS DE COLETORES CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	27
3.2.1	<i>Coletores convencionais.....</i>	<i>27</i>
3.2.2	<i>Coletores não convencionais.....</i>	<i>28</i>
3.3	PROCESSO DE AQUECIMENTO SOLAR	31
3.4	TERMOSSIFÃO.....	31
3.4.1	<i>Transferência de energia por calor</i>	<i>32</i>
3.4.2	<i>Modelo básico de cálculo solar</i>	<i>33</i>
3.4.3	<i>Cálculo da quantidade de calor absorvida pelo coletor.....</i>	<i>35</i>
3.4.4	<i>Cálculo para o consumo do chuveiro.....</i>	<i>36</i>
3.5	AVALIAÇÃO TÉRMICA E ECONÔMICA	36
3.5.1	<i>Térmica</i>	<i>36</i>
3.5.2	<i>Análise de Viabilidade Econômica.....</i>	<i>37</i>
4	METODOLOGIA.....	39
4.1	ESCOLHA DO MODELO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	39
4.2	AQUECEDOR SOLAR	39
4.3	MATERIAIS DO PROTÓTIPO	40
4.3.1	<i>Aquecedor Solar.....</i>	<i>40</i>
4.3.2	<i>Armazenamento da água quente</i>	<i>57</i>
4.4	ISOLAMENTO DOS PONTOS DE LEITURA DO COLETOR	65
4.5	PROTOCOLO EXPERIMENTAL LEITURA DOS DADOS DE AQUECIMENTO	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
5.1	AQUECEDOR SOLAR	67

5.2	REPLICAÇÃO DO AQUECEDOR.....	73
6	CONCLUSÃO	79
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
	BIBLIOGRAFIA.....	81

1 INTRODUÇÃO

No Brasil com o crescimento populacional e a melhoria da qualidade de vida, tem permitido que a população possa investir em conforto em suas moradias, geladeiras, ventiladores, ar-condicionado entre outros, o que requer a necessidade de energia elétrica aumentando a demanda pela mesma e a preocupação de como fazê-lo. Cerca de 77% da energia elétrica gerada no país é fornecida por usinas hidrelétricas segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010), sendo possuidor de um grande potencial hídrico e incentivos de políticas públicas, levando a grandes investimentos e ocasionando grandes impactos ambientais.

Após vários anos de discussões sobre uma maneira de substituição do uso dos combustíveis fósseis, começou-se uma busca por fontes alternativas de energias que não causem impactos ambientais ou o minimizem, por exemplo: energia solar, energia eólica, energia térmica advinda da biomassa entre outros.

O Brasil é privilegiado por ter irradiação solar dente as mais altas do mundo, superando os países europeus, Alemanha e França, com uma média incidente em qualquer região do território brasileiro de 1500-2500 kWh/m² (Pereira et al., 2006). Segundo o CRESESB (2000), o município de Palmas – TO, possui uma radiação média de 5,03 kWh/m².dia, possuindo às condições favoráveis para o uso de energia solar térmica, evitando o uso de chuveiros elétricos.

Segundo a EPE (2012) o maior “vilão” no consumo residencial de energia é o chuveiro elétrico, sendo responsável por 25 a 35% do total do gasto de energia elétrica, estima-se que o chuveiro consome de 6,2 a 8,7% da energia produzida no país, e ainda responsável por 18% da demanda de pico do sistema elétrico.

Aliado a boa prática da substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares de baixo custo e alternativos, encontra-se a preservação do meio ambiente por incentivar e propiciar a reciclagem de material descartado em sua confecção.

Dentre os fatores poluidores destacam-se lixo urbano, em especial garrafas pet e a caixas do tipo usadas na embalagem de leite longa vida. Segundo a Universidade de São Paulo - USP (2006), este tipo de embalagem demora mais de 100 anos para a decomposição no meio ambiente, prejudicando o mesmo e saturando os aterros sanitários e lixões.

Neste contexto, este projeto propõe a construção de um Aquecedor Solar Ecológico para habitações populares, bem como a avaliação térmica e de viabilidade econômica deste protótipo. Pretende, ainda, criar material informativo para um programa de conscientização do uso de energias limpas juntamente com a reutilização de materiais danosos ao meio ambiente (caixa de leite longa vida, garrafa pet etc.) em escolas públicas do Tocantins.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Projetar e construir um Aquecedor Solar Ecológico no município de Palmas – TO, avaliando a eficiência térmica e viabilidade econômica do sistema.

2.2 Específicos

- Dimensionar, construir e instalar um protótipo ecológico de aquecimento solar;
- Avaliação térmica do sistema de aquecimento solar;
- Comparação aquecedor de baixo custo x comercial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Breve Histórico da Energia no Mundo

O início da história do uso da energia térmica começa com a descoberta do fogo, com ela a humanidade saiu do período das trevas para produzir calor e luz, afirma o Instituto Ciência Hoje (2010).

A madeira é a fonte de energia mais antiga. No decorrer dos anos a humanidade descobriu a extração de outras fontes de energia necessária para suprir suas necessidades: vento, água, carvão, petróleo e átomo.

O grande “separador de águas” foi a revolução industrial no século XIX. Segundo Rosa (2012), a primeira revolução industrial ocorreu com a descoberta do carvão e sua aplicação na máquina a vapor, o carvão passou a ter grande utilidade. A segunda revolução industrial ocorreu com a descoberta dos princípios da termodinâmica, evolução dos transportes, uso do petróleo e gás natural. Em meados do século XX, com a 2ª guerra mundial, surge a energia atômica. Mais tarde a informática, robótica que em conjunto dão origem a terceira revolução industrial no final do século XX.

No século XX foram obtidos resultados para uma vida diferente dos antepassados, com todos os avanços provocados e alcançados, entre eles as mudanças de hábitos e facilidades da vida moderna, as novas gerações tornaram-se dependentes da energia, para gerar eletricidade, movimentar máquinas, veículos etc.

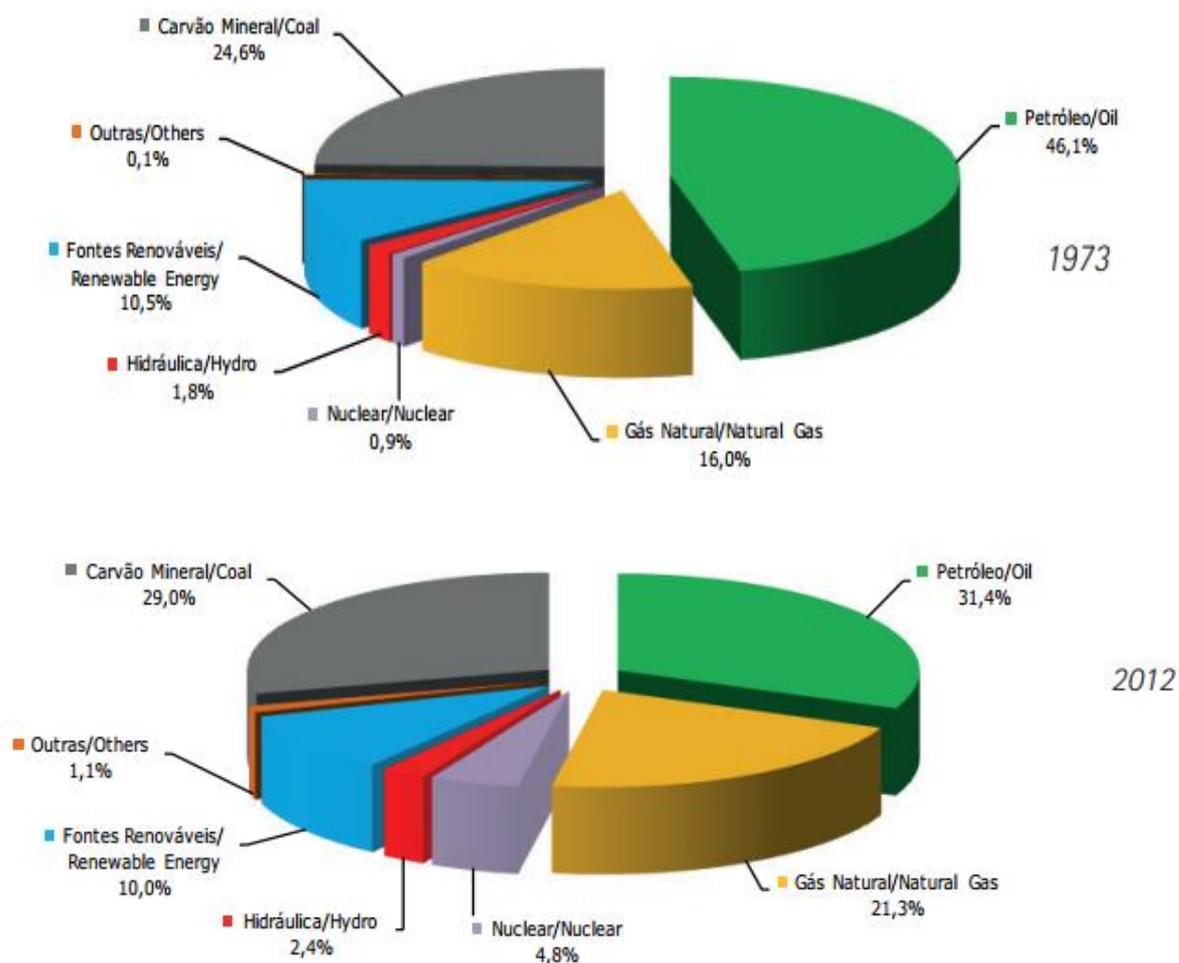
Com o aumento do uso da energia elétrica e a perspectiva de acabar o petróleo, surge a preocupação de como obter mais fontes de abastecimento energético e também com os menores impactos possíveis ao meio ambiente que esta demanda pode ocasionar. Isto faz com que a comunidade científica invista em pesquisas em busca de combustíveis alternativos, menos poluentes provenientes de fontes renováveis e com o menor poder impactante ao meio ambiente, segundo EPE (2012)

O BEN (2012), divide a energia em duas categorias: primária e secundária. A energia primária é gerada utilizando de recursos naturais como madeira, carvão, petróleo, gás natural urânio, vento, água e sol. A energia secundária é obtida a partir da transformação de fontes primárias como eletricidade, gasolina, gás de petróleo liquefeito, metano, biomassa entre outras.

A energia primária pode ser dividida em duas categorias: renovável e não renovável. Petróleo, carvão e gás natural são as principais fontes de energia da humanidade. Estas são extraídas de produtos fósseis e não renováveis – razão pela qual, em alguns anos, estas fontes se esgotarão. Destaca Lavado (2009), que para tanto, é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias e formas de exploração de fontes de energia, destacando as fontes de energias renováveis como a solar, eólica, hídrica, biomassa e da força das marés, e outras ainda a serem descobertas.

Apesar das constantes buscas por energias renováveis e dos incentivos financeiros para ampliação deste tipo de produção, a matriz energética mundial vem apresentando praticamente a mesma formação percentual entre energias renováveis e não renováveis a mais de três décadas, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1- Matriz energética mundial comparativa dos anos 2012 e 1973.



Fonte: BEN (2015).

3.1.1 Usos da Energia Solar

Segundo Lavado (2009), as aplicações práticas da energia solar podem ser divididas em dois grupos: o primeiro, a energia solar fotovoltaica, processo de aproveitamento solar por meio de conversão direta em energia elétrica. A segunda, energia térmica, estes relacionados ao aquecimento de água e outros fluídos de trabalho.

Ainda Lavado (2009) ressalta que as técnicas para aquecimento solar são mais comuns com uso de coletores solares e concentradores de calor. Os coletores solares, onde o fluído passa por aquecimento, podendo ser utilizados para fins residenciais e comerciais em geral, para usos de higiene pessoal, lavagem de utensílios e ambientes, este recomendado quando não há a necessidade temperaturas maiores que 80° C (temperatura para coletores solar convencional). Os concentradores solares, são destinados a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, por exemplo para produção de vapor, secagem de grãos, dentre outras.

Rodrigues (2004), afirma que a utilização da energia solar para produção de energia e para aquecimento de água, continua a ganhar força em mercados emergentes, onde as crescentes necessidades de demanda de energia oferecem novas oportunidades de implantação. O Brasil é um exemplo de como o mercado de energia solar tem crescido, com uma média anual de 280 dias de sol, possibilita retornos relativamente rápidos e garantidos para os consumidores de aquecedores de água solares.

Segundo Rodrigues (2004), o uso de chuveiros e aquecedores de acumulação elétrica representam cerca de 8% do consumo brasileiro de energia elétrica, o chuveiro elétrico é responsável por 18% da demanda do pico de energia, este sendo suprido por meio de energia derivadas de hidrelétricas.

Com a crescente demanda de energia elétrica aumentou-se também a pressão para construções de novas usinas hidrelétricas, estas causando impactos negativos ao ambiente. Entre eles, a construção de reservatórios afeta a fauna (terrestre e aquática) e a flora local, eutrofização das águas (no primeiro momento), além da mudança climática, podendo elevar a temperatura e mudar o ciclo de chuvas e ainda ser acrescentado o reassentamento e deslocamento forçado das populações humanas que em geral são famílias de agricultores, pescadores, ou tribos indígenas que perdem a área utilizadas para a caça e a pesca (BRASIL, 2010).

Segundo Bermann (2001), as alterações ocasionadas pelas construções de usinas hidrelétricas construídas até hoje no Brasil, pode ter ultrapassado os 34.000 km² de terras

inundadas para a formação de barragens com deslocamento compulsório de aproximadamente 200 mil famílias, sem mencionar os danos ambientais e sociais.

Brasil (2010) afirma que nos casos de construção de hidrelétricas as estratégias usadas pelas empresas do setor elétrico sempre sobrepõem as argumentações das populações, vendendo apenas a ideia de que o empreendimento gerará energia elétrica de forma limpa, renovável e barata, diante disto se justifica a retirada de populações de ribeirinhas, destruição de APP's.

3.1.2 A Energia Solar no Brasil

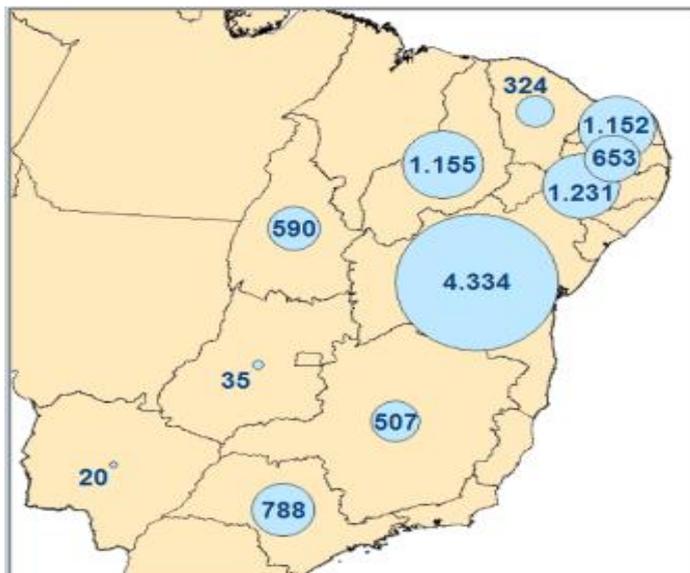
No Brasil, a necessidade de atender à crescente demanda por energia, a disponibilidade de recursos e o modelo do setor elétrico nacional propiciam um cenário favorável, em especial para as fontes eólica e solar.

Segundo Rodrigues (2004), “o Brasil é receptor de energia solar da ordem de 15 trilhões de MWh/ano, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade”. A ANEEL (2002), aponta dados da radiação solar no país onde varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia.

Rodrigues (2004), conclui que mesmo com esta grande disponibilidade de energia solar, existem poucos equipamentos de conversão desta energia em outros tipos de energias. Tais equipamentos poderiam estar contribuindo para diminuir a necessidade de construção de novas hidrelétricas, queima de combustíveis fósseis, entre outros.

Em 31 de outubro de 2014, o Brasil teve o primeiro leilão específico para projetos fotovoltaicos não competindo com outras fontes, apenas entre si, o Leilão de Energia de Reserva 2014, sendo um exemplo de avanço neste assunto. Houve um número recorde de projetos fotovoltaicos cadastrados, sendo 400, totalizando mais de 10 GWp, resultando na contratação de 890MW de capacidade despachável, a um preço médio de R\$ 215/MWh. Foi um dos preços mais baixos para energia solar no mundo, suplantado apenas recentemente por Dubai, de acordo com CCEE (2014).

Figura 2– Capacidade instalada (MW) fotovoltaica cadastrada no LER 2014.



Fonte: EPE (2012).

EPE (2012) afirma que a geração de energia solar continua a crescer fortemente conforme demonstra a Figura 2, alcançando 22% do mix global, em comparação com 21% em 2012 e 18% em 2007. No Market Analysis and Forecasts to 2020, relata que a capacidade de energia renovável se expandiu rapidamente até 2013, onde ocorreu instalações de novos sistemas a uma taxa de 100MW de capacidade por dia segundo IEA (2014).

O sol pode ser a maior fonte mundial de eletricidade até 2050, à frente de combustíveis fósseis, energia eólica, hídrica e nuclear. O sistema solar fotovoltaico pode gerar até 16% da eletricidade do mundo, enquanto a eletricidade heliotérmica, a partir de energia solar concentrada, forneceria um adicional de 11%. Combinadas, as duas tecnologias poderiam evitar a emissão de mais de 6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano até 2050, IEA (2014).

O Brasil tem criado políticas públicas que amparam, incentivam e fortalecem o uso de energia solar, para tanto, entrou em vigor no dia 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, com o sistema de compensação de energia elétrica em que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica com uso de energias renováveis, ainda poderá fornecer o excedente a rede de distribuição de sua localidade, inovações legais iguais a esta podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade, ANEEL (2012).

Os incentivos à geração distribuída são fundamentados pelos potenciais benefícios que este modelo de empreendimento pode proporcionar ao sistema elétrico. Dentre os quais, o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição onerosos de energia elétrica, o baixo ou quase nulo impacto ambiental na instalação e produção de energia, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética brasileira (ANEEL, 2012).

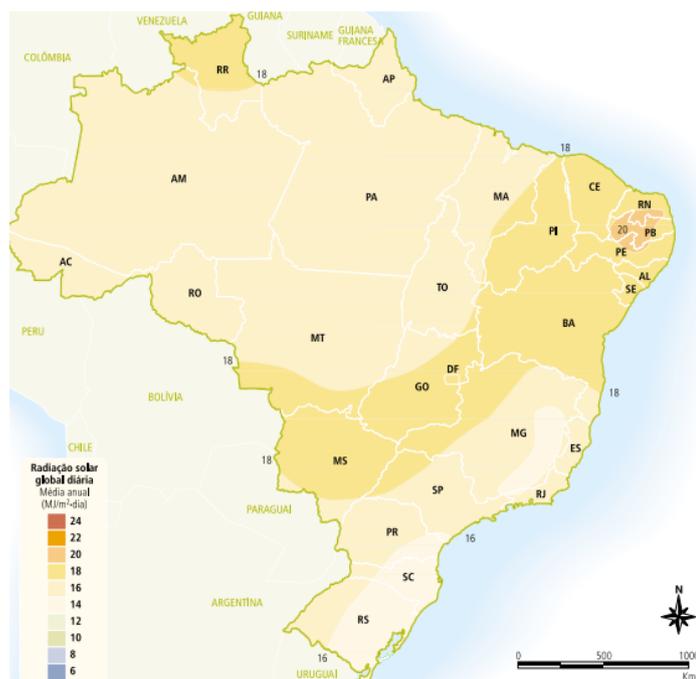
Em meio a este cenário destaca-se o estado de Pernambuco que realizou um leilão específico para energia solar, em dezembro de 2013, com contratação de seis projetos, com o preço médio de R\$ 228,63/MWh, com um total de potência de 122 MWp.

Mas, ainda permanecem dúvidas sobre a garantia de compra e venda da energia, e consequentemente a concretização dos empreendimentos.

3.1.3 A Energia Solar no Tocantins

O Estado do Tocantins recebe insolação média anual de 6 horas/dia, com radiação solar global média anual de 16 MJ/m².dia (Figura 3).

Figura 3: Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m².dia).



Fonte: CRESESB (2000).

A Tabela 1 apresenta o potencial fotovoltaico residencial de todos os estados, onde teriam condições de suprir o consumo elétrico residencial brasileiro de forma integral com o

uso da energia fotovoltaica. Em destaque o Estado do Tocantins e sua contribuição para a matriz energética fotovoltaica brasileira.

Tabela 1- Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial, em destaque o Estado do Tocantins.

UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)	Potencial Fotovoltaico Residencial Anual 2013 (GWh)	Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)	Potencial Fotovoltaico/Consumo Residencial
São Paulo	7.100	62.196	38.783	160%
Minas Gerais	3.675	32.193	10.118	318%
Rio de Janeiro	2.685	23.521	12.833	183%
Bahia	2.360	20.674	6.144	337%
Rio Grande do Sul	1.970	17.257	7.750	223%
Paraná	1.960	17.170	6.986	246%
Ceará	1.430	12.527	3.751	334%
Pernambuco	1.410	12.352	4.563	271%
Goiás	1.220	10.687	3.958	270%
Santa Catarina	1.075	9.417	4.935	191%
Maranhão	1.020	8.935	2.563	349%
Pará	1.020	8.935	2.632	339%
Paraíba	655	5.738	1.603	358%
Espírito Santo	595	5.212	2.213	236%
Mato Grosso	570	4.993	2.182	229%
Rio Grande do Norte	555	4.862	21.805	269%
Piauí	555	4.862	1.328	366%
Mato Grosso do Sul	505	4.424	1.571	282%
Alagoas	505	4.424	1.227	361%
Amazonas	420	3.679	1.784	206%
Distrito Federal	410	3.592	2.191	164%
Sergipe	350	3.066	979	313%
Rondônia	265	2.321	1.084	214%
Tocantins	255	2.234	695	321%
Acre	110	964	373	258%
Amapá	80	701	500	140%
Roraima	65	569	345	165%
Brasil	32.820	287.505	124.896	230%

Fonte: CRESESB (2000).

A Tabela 2 apresenta as tarifas da classe de consumo residencial da concessionária Energisa Tocantins, homologada pela resolução N° 1858, publicada em 02/03/2015, com vigência entre 02/03/2015 a 03/07/2015, segundo ANEEL (2015). Para análise de custos deste trabalho usaremos como referência o valor da tarifa B1 – Residencial.

Tabela 2 - Tarifas da Classe de Consumo Residencial no Tocantins.

Descrição	R\$/kWh
B1 – Residencial	0,43728
B1 - Residencial Baixa Renda	
Consumo mensal inferior ou igual a 30 kWh	0,15112
Consumo mensal superior a 30 kWh e inferior ou igual a 100 kWh	0,25906
Consumo mensal superior a 100 kWh e inferior ou igual a 220 kWh	0,38859
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,43177

Fonte: ANEEL (2015).

3.2 Modelos de coletores convencionais e não convencionais de aquecimento de água

3.2.1 Coletores convencionais

Segundo Fantinelli (2006), existem três tipos de tecnologia já utilizados mundialmente para o aquecimento de água com o uso de recursos solares:

- Coletores de placa e tubo metálico (coletores cobertos ou fechados ou coletores de placa plana), utilizados para o aquecimento de água para fins sanitários, que alcançam temperaturas em torno de 90°C, Figura 4.a;
- Coletores de material plástico ou polimérico (coletores abertos), que são geralmente utilizados para o aquecimento de piscinas e que alcançam temperaturas de até 30°C, figura 4.b;
- Coletores de tubos evacuados, que são de três tipos: tubo de calor, tubo em “U” e termosifão tubular, usados para gerar calor em processos para fins industriais ou aquecimento de água para fins sanitários, principalmente em climas com baixas temperaturas. Estes coletores alcançam temperaturas maiores do que 250°C, figura 4.c.

Figura 4: (a) – Coletor fechado. (b) – Coletor aberto. (c) – Coletor de tubo evacuados.



Fonte: (a) portuguese.solarpower-waterheater.com/. (b) www.pucminas.br/. (c) www.newhome.com.br/.

Para Weiss e Mauthner (2011) os coletores mais utilizados no Brasil são os coletores fechados ou coletores de placa plana, para fins sanitários e os coletores solares abertos, para o aquecimento de piscinas. Os coletores evacuados, do tipo tubo de calor (*heat pipe*), são pouco utilizados no país. No entanto, estes são os coletores mais usados no mundo, especialmente na China.

3.2.2 Coletores não convencionais

Para Fatinelli (2006), com o uso de tecnologias de baixo custo podem contribuir para diminuir o uso tradicional de energia elétrica e propiciar a melhoria da qualidade de vida da população menos favorecida. Este novo segmento de coletores não convencionais possuem as vantagens de poderem ser manufaturados por qualquer pessoa e serem constituídos de materiais de fácil acesso.

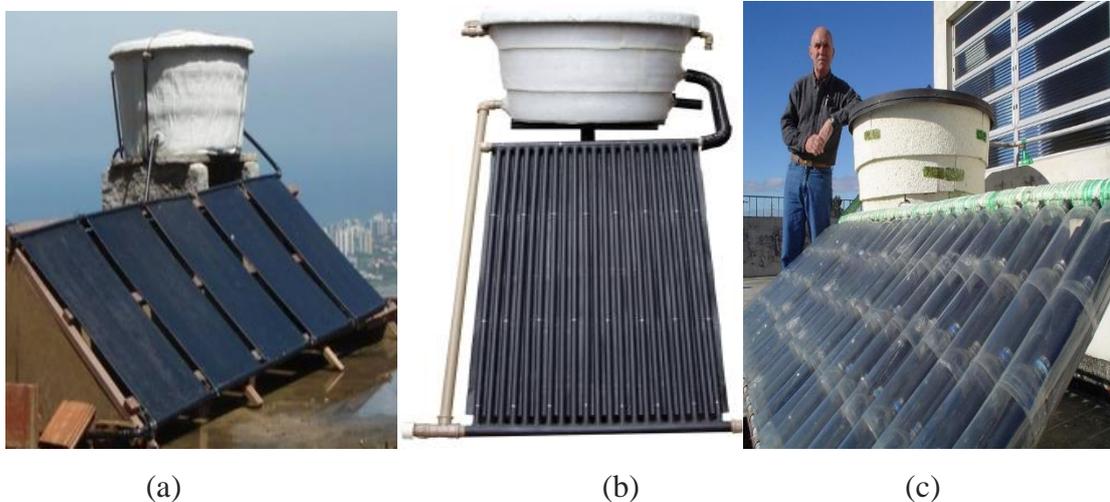
- a) Aquecedor Solar de Baixo Custo, ou ASBC: os coletores são manufaturados pelo usuário a partir de um material denominado forro alveolar (forro PVC ou divisórias PVC), contendo reservatório térmico de caixa de água, isolado com materiais disponibilizados ao usuário a custo zero ou quase zero, podendo aquecer a uma temperatura de 40 a 55°C (figura 5.a);
- b) Aquecedor Solar de água com tubos de pvc: os coletores são produzidos pelo usuário a partir de tubos de pvc, possui reservatório térmico de caixa de água, isolado com materiais disponibilizados ao usuário a custo zero ou quase zero, chegando a aquecer a uma temperatura de 26 a 30°C (figura 5.b);
- c) Aquecedor Solar de água com garrafas pet, os coletores são produzidos pelo usuário a partir de garrafas pet, tubos de pvc e caixa “LONGA VIDA”, possui reservatório térmico de caixa de água, isolado com materiais disponibilizados ao usuário a custo zero ou quase zero, podendo aquecer a uma temperatura de 38 a 53°C (figura 5.c).

3.2.2.1 Coletores convencionais de aquecimento de água

A Figura 6 apresenta o esquema de circulação da água por sistema de termossifão, em azul representa a passagem de água fria e em vermelho a de água quente. A Figura 7 indica o posicionamento do coletor para o norte geográfico e a inclinação mínima exigida de um sistema

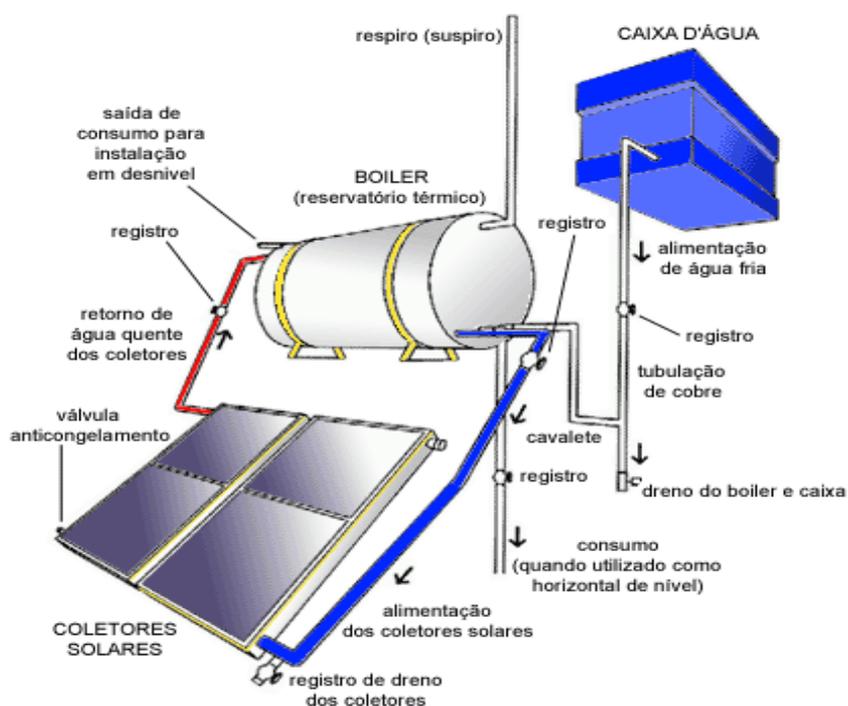
convencional de aquecimento de água, sendo esta de 10° acrescido o grau da latitude de onde se encontra instalado o aquecedor.

Figura 5- (a) - Aquecedor Solar de Baixo Custo. (b) - Aquecedor Solar de água com tubos de pvc. (c) - Aquecedor Solar de água com garrafas pet.



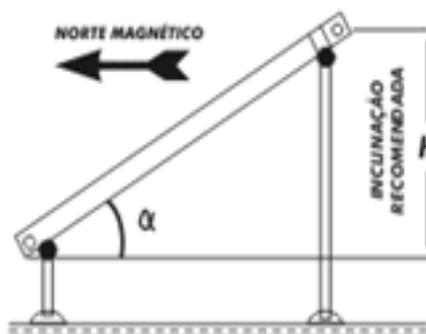
Fonte. (a) www.missaorama.com.br. (b) www.ecolmeia.org.br. (c) www.sempresustentavel.com.br.

Figura 6- Sistema de Circulação Natural (Termossifão) – Coletor convencional.



Fonte: nauglasmarpiscinas.com.br.

Figura 7- Posição do coletor convencional. O ângulo de inclinação mínima (α).

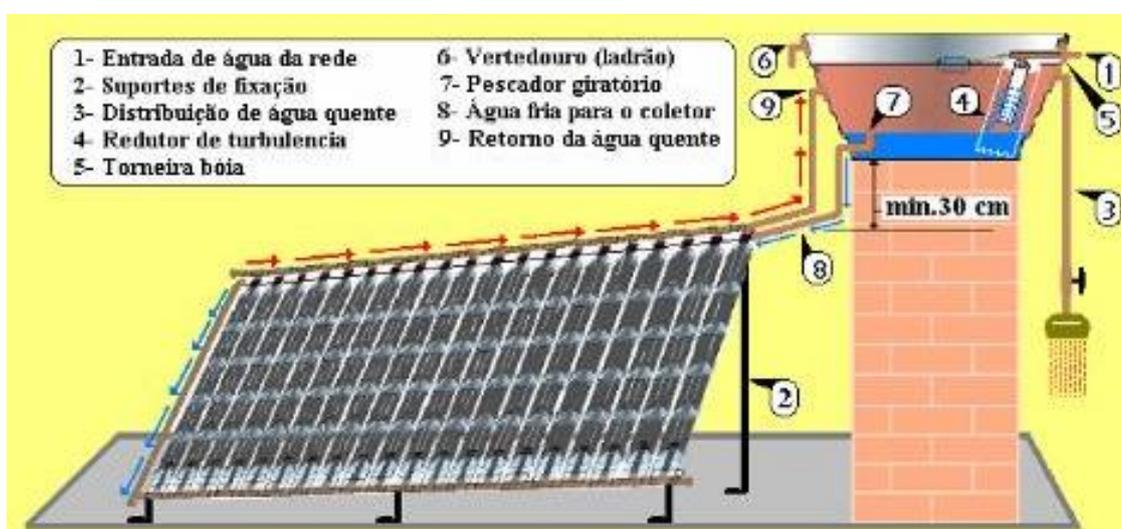


Fonte: www.pwsengenharia.com.br.

3.2.2.2 Coletores não convencionais de aquecimento de água

A Figura 8 apresenta o sistema de circulação natural de água por termossifão de um coletor não-convencional, onde em azul está indicado a circulação de água fria desde o reservatório até a entrada no coletor. Em vermelho mostra-se a saída de água do coletor, esta após ser aquecida, até o retorno ao reservatório. É acondicionado no reservatório a água fria e a água quente. A água quente por ser menos densa irá ficar na parte superior do reservatório. Ao passo que a água quente resfriará passando para o fundo do reservatório que então voltando para o ciclo de aquecimento novamente.

Figura 8- Sistema de Circulação Natural (Termossifão) – Coletor não convencional.

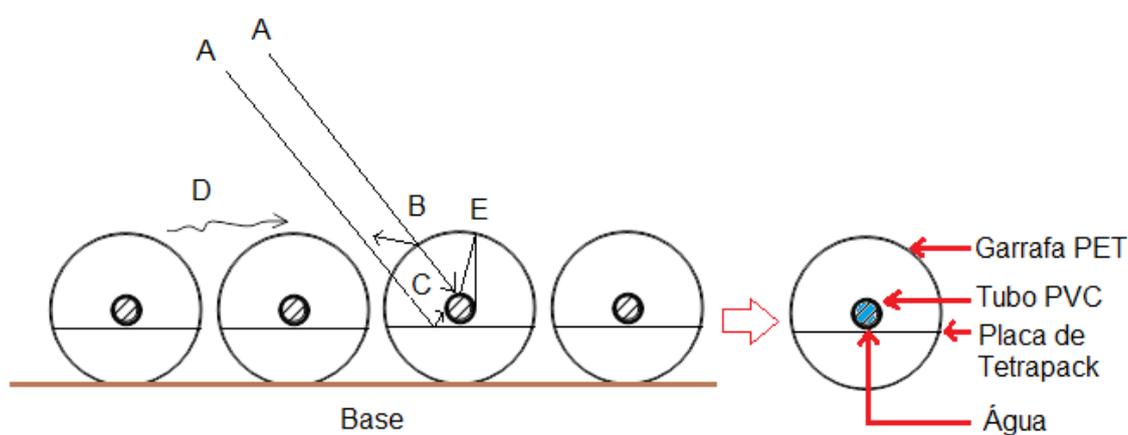


Fonte: www.meioambiente.pr.gov.br

3.3 Processo de aquecimento solar

A Figura 9 representa o processo de aquecimento que ocorre com as garrafas PET. Em (A), incidência dos raios solares sobre a superfície da garrafa pet. Em (B), reflexão de parte dos raios solares para o meio. Em (C) incidência dos raios solares sobre as caixinhas de “LONGA VIDA” pintadas de preto. A luz absorvida excita os elétrons fazendo com que eles emitam calor transferidas ao cano por condução, em (D), as garrafas PET impedem que haja perda por convecção natural com o ar, em (E), apresenta o processo de “Efeito Estufa” no interior da garrafa.

Figura 9- Ilustração do processo de aquecimento do aquecedor pelos raios solares.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Termossifão

Moran (2009) afirma que a circulação de água no coletor solar pode ser classificada como: natural ou termossifão e circulação forçada. A circulação natural ou termossifão (sem bomba) da água dentro do aquecedor ocorre devido à diferença de temperatura que provoca a movimentação, fluxo, de água do coletor para o reservatório devido à diferença de temperatura, ou seja, a água fria é mais densa (pesada) do que a água quente, ou seja, menos densa. Mas para que isso ocorra, é indicado que o coletor (conector superior) esteja conectado ao reservatório pelo retorno de água quente, sendo indicado que o coletor esteja abaixo do nível inferior (fundo do reservatório), essa diferença deverá ficar entre 30 cm a 3 m, permitindo o funcionamento por diferença de densidade entre a água fria e quente. Porém, quando a temperatura entre a água quente e fria se igualam, equilíbrio térmico, interrompe-se o movimento de termossifão.

Havendo a saída de água quente para consumo, imediatamente, um volume igual de água à temperatura ambiente irá entrar no reservatório, então neste momento o equilíbrio térmico é desfeito, restabelecendo o movimento de termossifão (cíclico) até o momento que se encontre com a mesma temperatura. A Segunda Lei da Termodinâmica, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia tende a dividir-se por igual, até que o sistema alcance um equilíbrio térmico, sendo assim uma afirmativa esta afirma que as diferenças entre sistemas em contato tendem a igualar-se (VAN WYLLEN, 1995).

Circulação forçada (ou bombeada), ocorre quando se utiliza uma pequena bomba de água de baixo consumo. Um termostato instalado no coletor, acionará a bomba de circulação de água sempre que a água no interior do coletor estiver com uma temperatura maior que a do reservatório. A água quente circula do coletor para o reservatório, “empurrando” a água fria para o interior do coletor, fechando assim um ciclo circulatório (YOUNG, 2008).

O tipo de circulação de água de uma instalação é selecionado em função do volume diário necessário. Para volumes inferiores a 1500 litros, a circulação é por termossifão e acima desse volume, a circulação deve ser forçada. A Tabela 3 mostra a classificação atualmente adotada.

Tabela 3 – Classificação da circulação de água associada ao volume de água diário.

Instalação	Volume diário	Tipo
Pequeno Porte	$V < 1500$ litros	Termossifão
Médio Porte	$1500 < V < 5000$ litros	Circulação forçada
Grande Porte	$V > 5000$ litros	Circulação forçada

Fonte: Frota, 2001.

3.4.1 Transferência de energia por calor

Moran e Shapiro (2009) afirma que quando certa quantidade de calor é transmitida para um corpo, na maioria dos casos, a sua temperatura cresce. A quantidade de calor necessária para aumentar de certo valor à temperatura de uma substância depende da quantidade dessa substância, e varia de acordo com a substância.

Para Moran e Shapiro (2009) a transferência de energia por calor é induzida apenas como um resultado de uma diferença entre o sistema e sua vizinhança, e ocorre somente no sentido decrescente de temperatura.

Van Wylen (1995) define calor como sendo a forma de transferência de energia, através da fronteira de um sistema numa dada temperatura, a outro sistema (ou o meio), numa temperatura inferior, em virtude da diferença de temperatura entre dois sistemas. Para tanto para que haja transferência de calor é preciso que haja uma diferença de temperatura. Não pode ocorrer troca de calor entre dois corpos se ambos estiverem na mesma temperatura.

Ou seja, o calor (Q) é transferido do sistema de temperatura superior ao sistema de temperatura inferior e a transferência deste calor ocorre unicamente devida a diferença de temperatura entre os dois sistemas.

Segundo Van Wylen (1995), “Considera-se positivo o calor transferido para um sistema e o calor transferido de um sistema é considerado negativo”. Assim, calor de valor positivo representa aumento de energia para um sistema e calor negativo representa a diminuição de energia de um sistema.

$Q > 0$: transferência de calor para o sistema

$Q < 0$: transferência de calor do sistema

Pode-se afirmar que, uma variação na Temperatura está associada a variação da energia térmica (energia interna) do sistema por causa da transferência de energia entre ele e suas vizinhanças (VAN WYLEN, 1995).

3.4.2 Modelo básico de cálculo solar

Existem dois componentes na radiação solar: radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é a que vem diretamente do Sol, sem reflexões ou refrações intermediárias. A radiação difusa ocorre devido à ação de espalhamento da atmosfera. Uma placa coletora solar absorve tanto a radiação solar direta quanto a difusa (BORGES, 2001).

Segundo Borges (2001), o ganho do calor útil por uma placa coletora plana

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

Onde

\dot{Q}_u calor útil transferido para o fluido circulante [W];

\dot{m} fluxo de massa do fluido [kg/s];

c_p calor específico do fluido [kJ/kg°C];

T_i	temperatura do fluido que entra no coletor [°C];
T_o	temperatura do fluido que sai do coletor [°C].

O desempenho térmico de um coletor solar pode ser expresso pela equação de Hotell-Whillier (DUFFIE e BECKMAN, 1991):

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [I(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)] \quad (2)$$

Onde:

\dot{Q}_u	Calor útil transferido para o fluido circulante (W/s)
A_c	área da placa coletora (m ²)
F_R	fator de remoção de calor da placa coletora.
I	taxa de radiação solar incidente na superfície da placa coletora (W/m ²)
τ	transmitância da cobertura de vidro (decimal)
α	absortância da superfície “negra” da placa (decimal)
$(\tau\alpha)_e$	produto transmitância-absortância efetivo (decimal)
U_L	coeficiente global de perdas de calor da placa coletora (W/m ² °C)
T_a	temperatura ambiente (°C)

Segundo Duffie e Beckman (1991), o fator de remoção de calor F_R relaciona o ganho real de energia útil pela placa coletora com o ganho útil de calor se a placa inteira estivesse à temperatura do fluido que entra.

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_c[S - U_L(T_i - T_a)]} \quad (3)$$

Onde:

F_R	fator de remoção de calor da placa coletora.
T_i	Temperatura do fluido que entra no coletor (°C)
T_o	Temperatura do fluido que sai no coletor (°C)
S	Radiação solar absorvida pelo coletor, por unidade de área

A eficiência de um coletor solar pode ser definida como a razão entre o ganho de calor útil pelo fluido e a radiação solar incidente sobre a superfície do coletor, em um dado intervalo de tempo

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{IA} \quad (4)$$

Das equações (1) e (3) resulta a equação 7 (Norton,1991):

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{IA}; \quad (5)$$

e das equações (2) e (3), resulta a equação 8

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I}. \quad (6)$$

Segundo Borges (2001) para submeter as placas coletoras para testes constantemente deve-se aponta-las para o sol para receber radiação direta normal, submetê-las a uma vazão constante de água e determinar \dot{Q}_u por medições usando a equação 8, além de medir I , T_i e T_a . Cálculo da quantidade de calor absorvida pelo coletor

Com os valores de temperatura na entrada de água fria e dentro do boiler são calculadas as médias horárias para estes dois pontos. Estes valores médios, em conjunto com a massa de água do reservatório térmico, foram utilizados para determinar energia térmica necessária à água para a alteração da sua temperatura, com a Equação (7) de Duffie e Beckman (2006).

$$Q = m \times C_p \times (T_{\text{maior}} - T_{\text{menor}}) \quad (7)$$

Onde:

Q	Quantidade de calor
m	Massa do corpo
Cp	Calor específico do fluído (kJ/kgC)
Tmaior	Temperatura máxima do reservatório no final do período (°C)
T menor	Temperatura mínima do reservatório no final do período (°C)

A área do coletor é calculada conforme Equação $A_c = N \times D \times L$
(8)

$$A_c = N \times D \times L \quad (8)$$

Onde:

- Ac Área da placa coletora (m²)
 N Número de tubos do coletor
 D Diâmetro do tubo interno
 L Comprimento da superfície absorvedora do tubo interno (m)

3.4.3 Cálculo para o consumo do chuveiro

Segundo a ANEEL (2015), para calcular o consumo do chuveiro elétrico e o valor da conta de energia, usa – se a regra abaixo:

$$\text{Consumo} = (\text{potência em watt}/1000) \times (\text{tempo}) \text{ número de horas} = \text{total em KWh} \quad (10)$$

Para EPE (2012) o gasto com chuveiro elétrico corresponde a cerca de 33,27% do total da conta de energia, onde o chuveiro elétrico é responsável pelo consumo residencial, de 25 a 35% do gasto total com energia elétrica.

3.5 Avaliação térmica e econômica

Segundo Hirschfeld (2010), a viabilidade financeira de um empreendimento é examinada dentro de um prazo de interesse no qual desejamos saber se o esforço produtivo a ser realizado vale mais do que a simples aplicação dos valores envolvidos e taxas mínima de atratividade. Ou seja, para que exista viabilidade é necessário que os benefícios resultantes sejam superiores aos custos empregados.

3.5.1 Térmica

Segundo Paim (1994) o rendimento da eficiência térmica do coletor depende de diversos fatores, entre eles: intensidade da luz, das condições climáticas, temperatura mínima da demanda, taxa de extração do calor, entre outros. Chega – se a conclusão que o rendimento de um coletor não é constante ao longo do dia, neste processo do aquecimento da garrafa pet, da caixa de leite, dos tubos de PVC, da água e o ar que encerra, tem que ser aquecidos pelo Sol da manhã, depois de uma noite fria, sendo assim, o coletor solar opera com saída máxima à tarde, quando a inércia térmica do sistema foi vencida.

Para Tiradentes (2006, p. 42), destaca que:

O rendimento global de um coletor de chapa plana η_c , em operação normal de qualquer coletor térmico, pode ser expresso como o produto de um rendimento óptico η_o e de um rendimento de acumulação térmica η_t . O rendimento óptico ocorre independente da temperatura de operação do sistema e da intensidade de luz, porém é

dependente do ângulo de incidência da luz. Por outro lado, o rendimento de acumulação térmica, é função da temperatura do sistema da intensidade da luz.

$$\eta_c = \eta_o - \frac{\int UA(T_p - T_{amb}) dt}{A_c \int I dt} \quad (9)$$

Onde:

η_c	Rendimento global do coletor
η_o	Eficiência ótica do coletor
U	Coefficiente de transferência de calor
A	Área do absorvedor (m ²)
dt	Rapidez da energia interna armazenada no coletor (W).
I	Fluxo de radiação absorvida pela placa
A_c	Área do coletor

3.5.2 Análise de Viabilidade Econômica

Para uma análise da viabilidade econômica usa-se os indicadores de mercado, que são os parâmetros que podem determinar se um investimento é viável ou não, conforme Kassai et al (2000). Os mais usados são:

VPL – Valor Presente Líquido: Utilizada para avaliar propostas de investimento de capital, e o seu valor é determinado pela subtração do valor do investimento inicial de um projeto, do valor presente dos fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo do capital da empresa (TMA)

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FCL_j}{(1 + TMA)^j} \quad (10)$$

Onde:

FCL	Fluxo de caixa livre
j	número de Período de interesse
TMA	Taxa mínima de atratividade

TMA – *Taxa Mínima de Atratividade*: representa a taxa mínima a ser alcançada em um determinado projeto, ou seja, o mínimo que um investidor se dispõe a ganhar em um empreendimento. É utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método do VPL e o parâmetro de comparação para a TIR.

TIR – *Taxa Interna de Retorno*: A taxa de desconto que faz o VPL ser zero. Se ela é maior que o custo de oportunidade considerado, o projeto tem VPL positivo, caso contrário, o VPL será negativo.

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FCL_j}{(1 + TIR)^j} \quad (11)$$

Onde:

<i>FCL</i>	Fluxo de caixa livre
<i>j</i>	Período de meses
TIR	Taxa interna de retorno

Payback – *Recuperação do investimento inicial*: É o período de tempo necessário para recuperar o capital investido, consiste na identificação do prazo em que o montante do investimento do capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos gerados pelo investimento.

4 METODOLOGIA

O projeto, quanto a natureza é qualitativa e quantitativa, quanto aos objetivos é exploratório, dentre os procedimentos técnicos destacam-se a pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo, com características aproximadas ao estudo de caso.

4.1 Escolha do modelo de sistema de aquecimento solar

Para a escolha do modelo do sistema de aquecimento solar não convencional, foram considerados os seguintes aspectos:

- 1) Modelo faça você mesmo, ou seja, um modelo que seja de fácil de replicação e compreensão do processo de confecção mesmo para pessoas com pouca ou nenhuma capacitação técnica;
- 2) Materiais de baixo custo e de fácil acesso;
- 3) Materiais derivados de resíduos sólidos (garrafa pet e caixa “LONGA VIDA”), podendo assim contribuir com a destinação “nobre” para materiais que seriam descartados de forma incorreta no aterro sanitário;
- 4) Aliar os pontos acima com o melhor desempenho no aquecimento da água por energia solar.

4.2 Aquecedor Solar

O aquecedor solar é composto pelo coletor e reservatório de água quente (boiler). O coletor é constituído por garrafa PET, Caixa longa vida, canos e conexões de PVC, que compõem a área de captação do calor e transferência deste para a água.

O reservatório de água é constituído por um reservatório e conexões de PVC com isolamento térmico por caixa longa vida.

A garrafa descartável que compõe o aquecedor solar, é um polímero poliéster termoplástico. Possui uma transparência seletiva, ou seja, transparente à radiação solar visível e opaco para os raios infravermelhos, portanto provoca “Efeito Estufa”, essencial para o “aprisionamento” do calor de um coletor solar. Estas características aliado ao tempo de degradação deste material quando sujeito as intempéries, torna-o um material com características desejáveis para formar a placa de aquecimento solar.

O aquecedor solar é constituído por tubos e conexões de PVC. O coletor composto por 05 colunas de tubos de PVC pintado de preto. Cada coluna com cinco garrafas PET sem o

fundo, inserido no interior de cada uma desta uma caixinha “LONGA VIDA”. Para fechamento de cada coluna usou-se a sexta garrafa modificada para fechamento e retenção do calor “Efeito Estufa” (Figura 11).

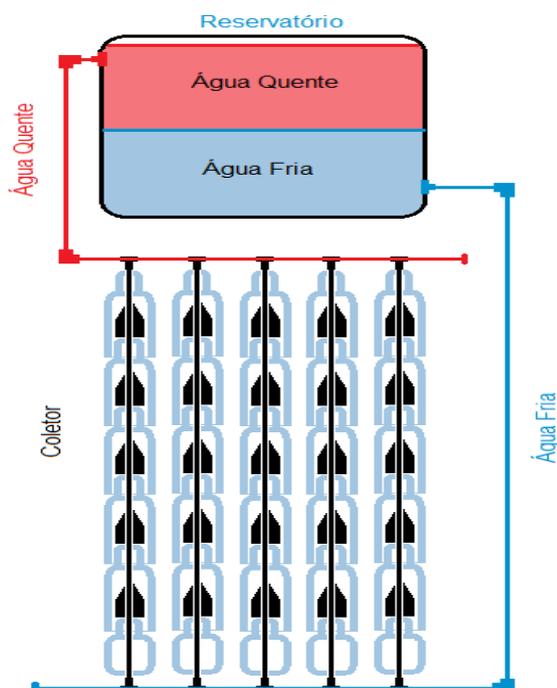


Figura 11- Ilustração do Aquecedor solar de garrafa PET. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Materiais do protótipo

4.3.1 Aquecedor Solar

Para produção do protótipo alguns procedimentos são necessários. Seleção dos materiais, limpeza, tratamento e confecção dos componentes construtivos.

4.3.1.1 Coletor

Lista de materiais construtivos do coletor:

- 30 Garrafas PET de 2 litros transparentes;
- 25 Embalagens de Caixa de Leite ou de suco;
- 02 barras de canos de PVC de 20 mm;
- 10 Conexões “T” PVC de 20mm;
- 02 Tampões em PVC de 20mm;
- 02 Adaptadores para caixa d’água de 20mm;

- 04 Conexão Joelhos de 20mm;
- 01 Fitas de auto fusão 19mm x 10m;
- 01 Rolos de 05 cm de espuma;
- 01 par luvas para pintura;
- 01 Estilete;
- 01 Litro de tinta esmalte sintético preto fosco;
- 01 Martelo pequeno de Borracha;
- 01 lixa 80;
- 01 tubo grande de cola para cano PVC;
- 01 serra de arco para cano;
- 01 Fita durex 19mm x 10m.

As garrafas PET foram lavadas no laboratório de materiais e compósitos – LCM com água e sabão depois secadas naturalmente. Este procedimento se fez necessário para evitar a proliferação de microrganismos que poderão provocar opacidade e eliminação de odores. O protótipo foi construído e instalado nas dependências da UFT – Campus Palmas ao lado do LCM.

4.3.1.2 Procedimento de corte das garrafas

Para construção do coletor as garrafas pet foram cortadas na linha indicada na Figura 12, parte inferior, cerca de 31 cm, medidos a partir da boca. O corte foi executado com o auxílio de estilete e tesoura.



Figura 12 – apresentação do corte inferior da garrafa pet. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.3 Procedimento de corte da caixa de leite

A caixa de leite precisa ter um formato que propicie fazer a função de absorção da radiação e caiba dentro da garrafa. A partir de da borda que permaneceu selada após o uso da embalagem, no sentido longitudinal, foi medido com o auxílio da uma régua 22,5 cm de comprimento, conforme Figura 13, e retirado o excesso com o uso de uma tesoura.



Figura 13 - marcação e corte longitudinal. Fonte: Elaborado pela autora.

A caixa de leite longa vida é colada na parte posterior na linha central do sentido longitudinal. Ao longo da linha central, a partir da margem indicada na Figura 14, é demarcada uma distância de 7cm com o auxílio de uma régua, a partir do corte da Figura 13.



Figura 14 - marcação e corte medial. Fonte: Elaborado pela autora.

O quadro 1, mostra a sequência de operações de dobraduras para conformar a caixa de leite afim de ser introduzida na garrafa e propiciar encaixe adequado.

Quadro 1- Procedimento de dobras da caixa de leite.

Embalagem sendo finalizado corte de 07 cm.



Primeira dobra, a formar parte superior de um avião de papel.



Espaçamento entre as dobras de 02 cm.



No corte de 07 cm, formar um triângulo até a lateral.



Repetir processo anterior na outra aba.



Dobra das laterais dos vincos já existentes.



Vista posterior das dobras.



Vista anterior das dobras.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.4 Procedimento de pintura das caixas de leite e canos

Para garantir a eficiência do coletor solar, é preciso que as caixas de leite sejam pintadas de preto, afim de minimizar a reflexão da radiação solar e garantir o efeito estufa dentro das garrafas. Finalizada a etapa de dobradura das caixas, estas foram pintadas com esmalte sintético preto fosco no lado liso da caixa, onde não há a emenda com cola, conforme Figura 15. Após a secagem foram refeitas as dobras.



Figura 15 - pintura das caixas e canos de PVC. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.5 Procedimento de corte dos canos

O coletor solar é composto por canos de PVC rígido convencional. Dependendo do volume de água desejado a quantidade e comprimento dos canos pode variar. As hastes verticais são conectadas entre si com pedaços de canos menores e conexões do tipo “T”. No entanto, quanto mais perto ficarem as hastes verticais umas das outras, melhora o manuseio e eficiência do sistema, já que os canos usados para interligação destas hastes não são isolados nem ficam dentro das garrafas PET. Para este protótipo foram cortados 22 pedaços de cano de PVC de 20mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, conforme Figura 16. As pontas foram lixadas, seguindo recomendação do fabricante para garantir uma soldagem perfeita.



Figura 16 - Amostra de corte e lixa da peça de 10 cm. Fonte: Elaborado pela autora.

Para confecção das hastes verticais cortar 10 pedaços de cano de PVC de 20mm de diâmetro de 1,10cm de comprimento, conforme Figura 17. O comprimento final depende do volume de água desejado. O procedimento é o mesmo descrito para os canos de interligações.



Figura 17 - Amostra de corte e lixa da peça de 1,10 cm. Fonte: Elaborado pela autora.

Os canos de pvc que comporão as hastes verticais devem ser pintados de preto fosco para maximizar a absorção de luz solar.

Nas pontas dos canos foi passada uma fita adesiva fina antes de executar a pintura, que foi removida a pós a secagem da tinta. Este procedimento tem como finalidade não aumentar a espessura do cano na parte em que será encaixado nas conexões do tipo “T”, conforme Figura 18. A tinta nesta região impediria a soldagem com a cola de PVC.

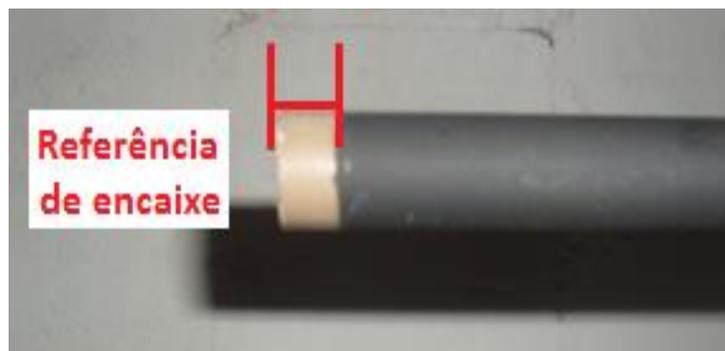


Figura 18 – Preservação da faixa de encaixe dos canos para as conexões. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.6 Procedimentos de montagem do Coletor

4.3.1.6.1 Materiais:



Figura 19 - Materiais necessários para montagem do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.6.2 “Esqueleto” do coletor

Na montagem do coletor é preciso diferenciar a parte inferior de junção das hastes verticais e a parte superior. Na montagem a parte superior, por circular água quente, as hastes verticais, bem como as junções horizontais devem ser coladas. Já a parte inferior as hastes verticais são somente encaixadas por circular água fria, possibilitando a desmontagem para manutenção e limpeza.

A sequência de montagem apresentada logo abaixo:

Para a montagem da parte superior do coletor, cada pedaço de cano encaixado e soldado com cola de pvc no “T” conforme mostra a Figura 20. A fim de garantir um perfeito encaixe evitando vazamentos utiliza-se o martelo de borracha. Os componentes utilizados foram: 06 pedaços de cano de PVC de 10 cm de comprimento e de 20 mm diâmetro e conexões do tipo “T” de 20mm.



Figura 20 - Modelo de montagem e colagem do coletor inferior. Fonte: Elaborado pela autora.

Para a montagem da parte inferior do coletor, cada pedaço de cano encaixado no “T” com auxílio do martelo de borracha para obter um encaixe perfeito afim de evitar vazamentos, conforme mostra a Figura 21. Os componentes utilizados foram: 06 pedaços de cano de PVC de 10 cm de comprimento e de 20 mm diâmetro e conexões do tipo “T” de 20mm.



Figura 21 - Modelo de montagem e encaixe do coletor inferior. Fonte: Elaborado pela autora.

Para a montagem do esqueleto do coletor cada haste encaixada nos conectores da parte superior e inferior com auxílio do martelo de borracha. Cada haste foi soldada na parte superior e encaixada na parte inferior. Os componentes utilizados foram: 05 canos de 1,10 cm de comprimento e de 20 mm de diâmetro e conexões do tipo “T”, conforme Figura 22.



Figura 22 - Processo construtivo do “esqueleto” do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.6.3 Montagem do coletor

Para a montagem do coletor as garrafas tipo PET, que vão realizar o efeito estufa, são encaixadas nas hastes verticais uma a uma, conforme mostrado na Figura 23. O gargalo das garrafas deve ficar voltado para a parte superior do coletor.



Figura 23 - Montagem e encaixe das garrafas pet no “esqueleto” do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

Após colocada a garrafa no cano é introduzida a caixa tipo longa vida por baixo do cano formando uma base, conforme Figura 24. Esta sequência de operação é feita até que o coletor esteja todo montado Figura 25.



Figura 24 - Montagem e encaixe das caixas longa vida no “esqueleto” do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

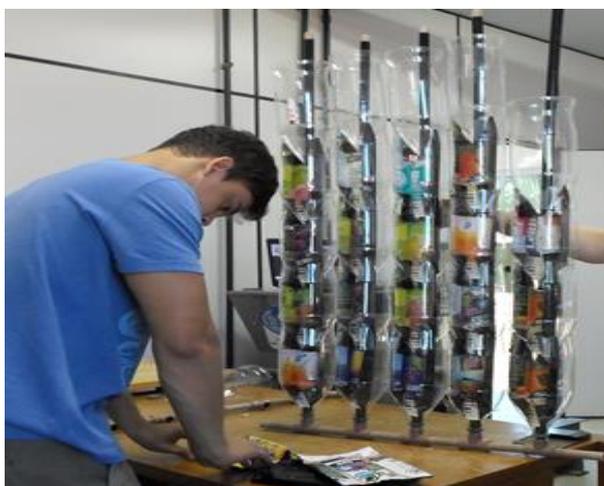


Figura 25 - Apresentação do processo de encaixe e montagem do “esqueleto” do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

A base do coletor é formada pela base de uma garrafa e parte do gargalo, formando uma garrafa menor. O comprimento deve ser medido conforme a necessidade. Como a haste deve passar pelo fundo da garrafa um furo de 22mm de diâmetro deve ser aberto na base (Figura 26). A parte de cima ~e recortada junto do gargalo, conforme Figura 27. As duas partes são encaixadas formando uma garrafa menor, conforme Figura 28.



Figura 26 - Demonstração do processo de perfuração do fundo da última garrafa. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 27 - Demonstração do processo de corte superior da última garrafa. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 28 - Encaixe e aspecto final da 6ª garrafa. Fonte: Elaborado pela autora.

Para a finalização do coletor, foi encaixado com auxílio do martelo de borracha a parte inferior ao esqueleto, conforme Figura 29.



Figura 29 - Fechamento do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

Para garantir que a tubulação da base não se desprende com o manuseio e durante a operação do equipamento e que haja estanqueidade dentro da garrafa, utilizou-se fita de auto fusão para a fixação e vedação da parte superior do coletor e das garrafas pet, conforme Figura 30.



Figura 30 - Em destaque demonstração da fixação e isolamento superior. Fonte: Elaborado pela autora.

Aspecto final do coletor de acordo, conforme Figura 31.



Figura 31 - Aspecto final do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.7 Medição de temperatura

Para o monitoramento da temperatura do aquecedor, foi confeccionado poços de medição de temperatura com o auxílio de conexões de PVC e tubos de cobre. Os tubos de cobre foram fechados na parte inferior e introduzido na tubulação do coletor através de um a conexão tipo “T”.

O fechamento dos poços feito em uma prensa, conforme Figura 32.



Figura 32 - Máquina de prensa e em detalhe do procedimento de prensagem. Fonte: Elaborado pela autora.

O poço de cobre foi introduzido no “T” e fixado com um CAP, previamente perfurado do diâmetro do tubo. A estanqueidade dos poços foi feita com cola de precisão (Figura 33). Tendo aspecto final do encaixe, conforme Figura 34.

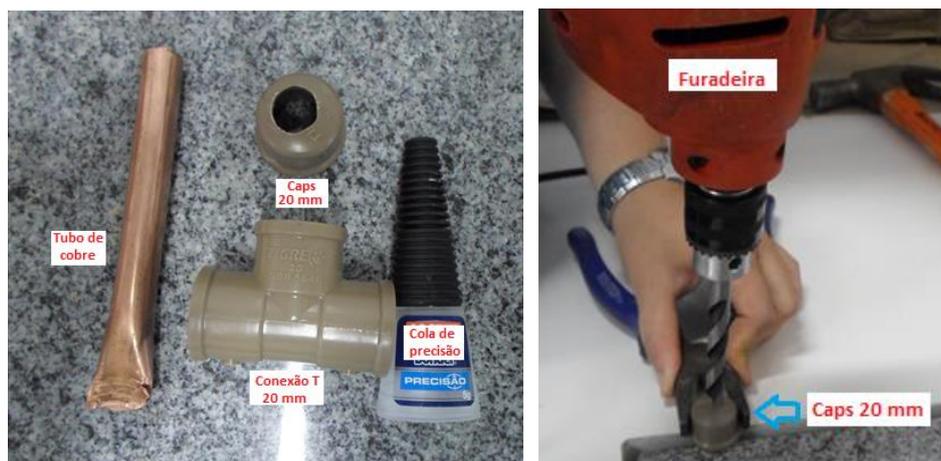


Figura 33 - Materiais para confecção e perfuração do caps. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 34 - Detalhes do selamento e encaixe do tubo de cobre. Fonte: Elaborado pela autora.

A vedação do espaço entre o poço de medição e o CAP foi feita com cola de silicone (Figura, e Figura 36).

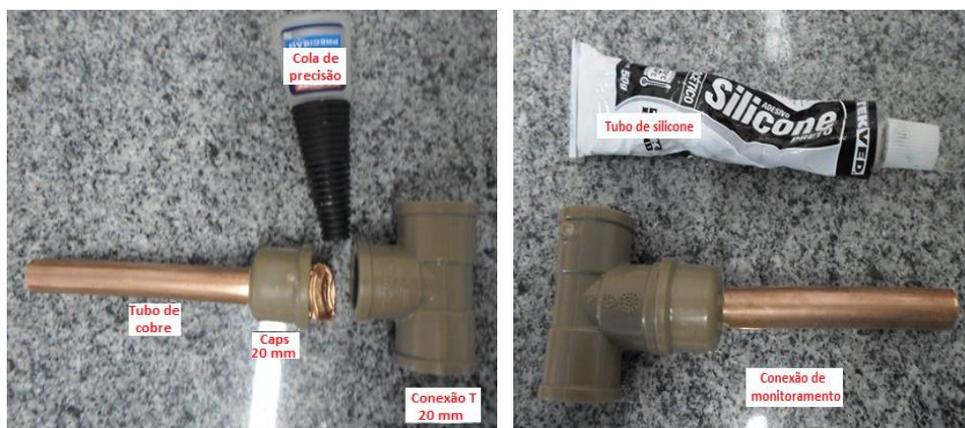


Figura 35 - Colagem das conexões e material para calafetar a conexão. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 36 - Detalhes da selagem com silicone e aspecto final do poço de medição de temperatura. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 37 mostra o poço de medição instalado.

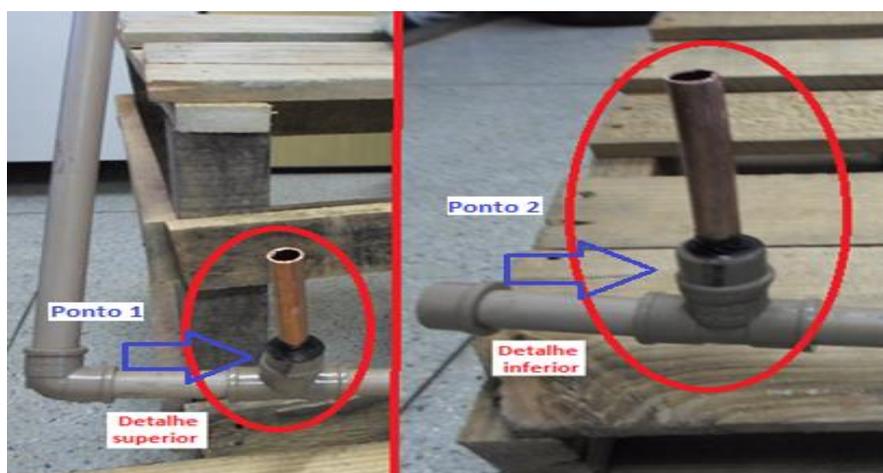


Figura 37 - Detalhes dos poços de medição de temperatura superior e inferior. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.8 Acoplamento coletor/reservatório

Para o fechamento do sistema do aquecedor foram utilizados tubos e conexões de PVC de 20 mm. Para a conexão da ligação da passagem de água fria do reservatório ao coletor, foi usado cano de PVC, medida variável a distância entre ambos, com auxílio de dois joelhos em 90° de 20 mm. Os mesmos procedimentos foram repetidos para a ligação de água quente conforme as Figura 38 e Figura 39.



Figura 38 - Montagem da ligação de passagem de água fria. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 39 - Montagem da ligação de passagem de água quente. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 40 apresenta o aspecto final da montagem e a circulação de água dentro do sistema do aquecedor solar, onde as setas azuis indicam a passagem de água fria e as vermelhas indicam passagem de água quente.

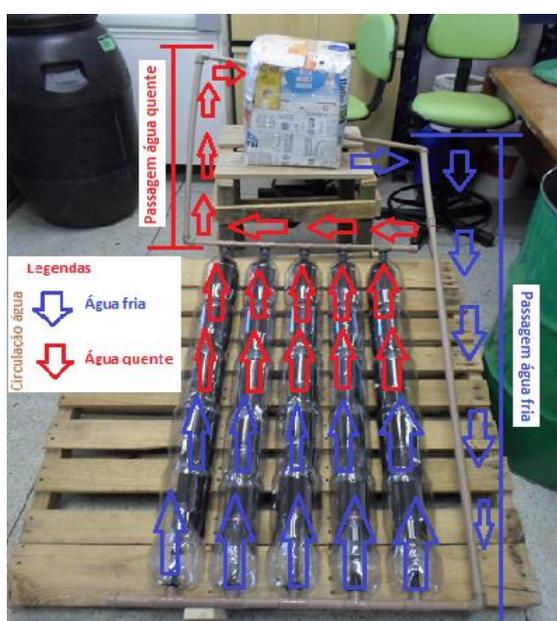


Figura 40 - Apresentação da circulação da água dentro e fora. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1.9 Procedimentos de construção do suporte do coletor

Para a confecção do suporte foi selecionado um pallet de madeira, de fácil acesso, baixo custo e por apresentar a estrutura desejada sem necessidade de grandes alterações físicas para o apoio do coletor, conforme Figura 41.



Figura 41 - Montagem e aspecto final do suporte do coletor. Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a Sociedade do Sol (2009), o coletor deve ter a latitude do local acrescida de 10° , (Figura 42), possibilitando assim captar o máximo possível de radiação solar, de fundamental importância para o aquecimento contínuo da água pelo aquecedor. Segundo o IBGE, a latitude do município de Palmas é 10° , portanto, a inclinação do coletor é 20° (Figura 43).

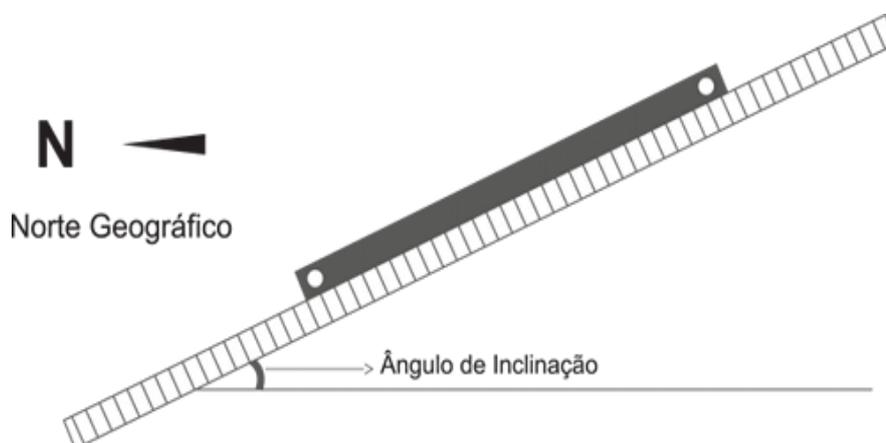


Figura 42 - A fixação do coletor ao telhado. Disponível em: <http://www.kisol.com.br/>.



Figura 43 - Ilustração da inclinação do coletor para o município de Palmas – TO. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.2 Armazenamento da água quente

O armazenamento da água quente merece uma atenção especial, pois a energia captada deve ser conservada sob a forma de calor, em um certo volume de água aquecida durante o dia, para o uso em período sem radiação solar (período noturno), para tanto o reservatório deve estar isolado termicamente para que não ocorra perdas de calor.

a) Construção do reservatório de água

Para a escolha do reservatório levou – se em consideração a quantidade de água a ser aquecida pelo coletor, neste caso, composto por 5 colunas com 6 garrafas funcionais, totalizando 30 litros. Para tanto foi escolhido um galão de 20 litros, branco leitoso comum, o mesmo podendo ser encontrado em qualquer loja e departamento de materiais, sendo compatível com a capacidade do protótipo testado.

Segundo a CELESC (2005), para simplificação do dimensionamento do projeto, sugere-se considerar que para cada garrafa pet aqueça um litro de água. Para dimensionamento total do coletor, uso residencial, seja considerado 50 litros de água banho/pessoa.

b) Confecção da tampa do reservatório

O reservatório foi feito usando-se um galão de 20l. Este volume definido por se tratar de um protótipo. A Figura 44 mostra a abertura do galão para instalação dos flanges e fixação da tampa, cuja finalidade é a sanidade da água quente.



Figura 44 - Demonstração da marcação e corte do reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.

A tampa foi fixada com auxílio da rebitadeira e furadeira, conforme Figura 45 e 50.



Figura 45 - Materiais e procedimento de montagem da tampa do reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 46 apresenta o aspecto final da tampa do reservatório.



Figura 46 - Aspecto final da confecção da tampa do reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.

i. Conexões

Para a montagem das conexões do reservatório, se fez necessário o uso de furadeira e conexões do tipo flange, conforme a Figura 47. A Figura 48 exemplifica o processo de perfuração da parte superior e inferior do reservatório para anexar os flanges.

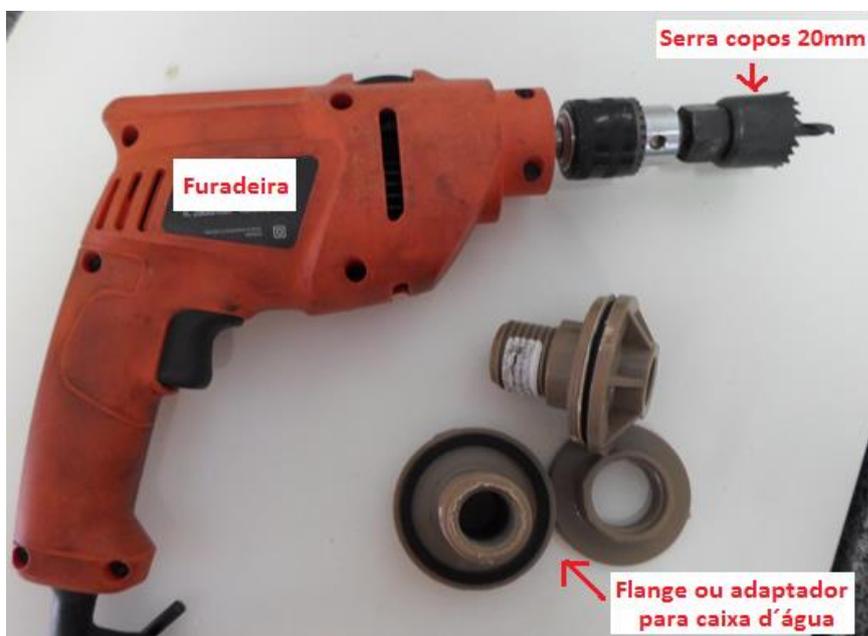


Figura 47 - Materiais para montagem do reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 48 - Procedimento de perfuração do reservatório, de maneira oposta, um furo superior e outro inferior. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 49 e a Figura 50 mostram o reservatório depois de montado.

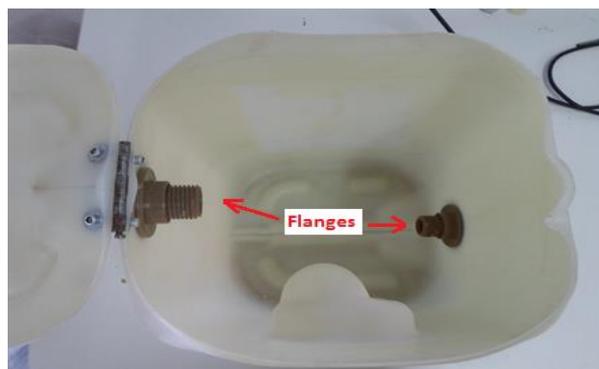


Figura 49 - Processo de fixação do flange ou adaptador para caixa d'água. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 50 - Aspecto final da montagem das conexões. Fonte: Elaborado pela autora.

ii. Montagem isolamento térmico do reservatório

Para garantir que o calor absorvido pela água seja preservado é necessário instalar algum tipo de isolamento térmico no reservatório. Por se tratar de um sistema de baixo custo, o isolamento selecionado, conforme já discutido, foi a caixa longa vida devido as suas propriedades térmicas e baixo custo (PAGANI, 2001).

O isolamento foi feito em duas camadas. A externa com caixas abertas e a interna com caixas fechadas, conforme mostrado a seguir.

iii. Preenchimento do revestimento externo do reservatório

A montagem do isolamento térmico foi feita segundo o modelo Pagani (2001) seguindo os procedimentos:

- Primeiramente abre-se a caixinha longa vida, conforme Figura 51.
- As caixas são coladas umas nas outras através de soldagem a quente. O equipamento utilizado foi um ferro de passar roupas doméstico (Figura 52). Para evitar que haja rompimento da solda, deve-se adotar uma borda de soldagem

entre 10 a 20mm. Por se tratar de material com revestimento plástico, o contato entre o ferro doméstico e a caixa deve ser evitado, colocando-se um pano, preferencialmente, de algodão. O tempo de soldagem deve ser entre 10s e 15s. A temperatura indicada para tal operações deve ser a usada para passar roupas do tipo poliéster. Para garantir a eficiência do processo, o ferro deve ser movimentado em zig-zag com movimentos rápidos e leves. A Figura 53 mostra o aspecto final da manta isolante.



Figura 51 - Aspecto da caixa de leite após cortes de abertura. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 52 - Antes e depois da colagem das caixas de leite com o uso do ferro de passar roupa. Fonte: Elaborado pela autora.

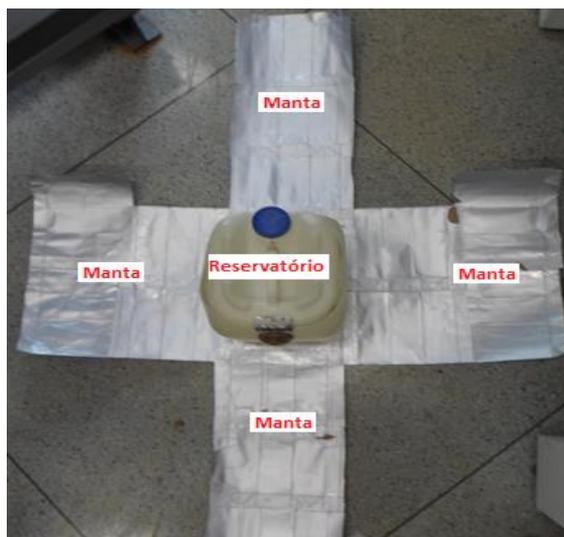


Figura 53 - Manta e reservatório aguardando preenchimento interno. Fonte: Elaborado pela autora.

iv. Preenchimento do revestimento interno do reservatório

O revestimento interno do isolamento térmico do reservatório foi feito de forma semelhante ao externo, utilizando caixas longa vida. A principal diferença é que as caixas não foram abertas e foram seladas pelo corte de saída do líquido. Apesar de não ser extremamente necessário, para minimizar o espaço as caixas foram pressionadas expelindo-se o ar contido nelas antes da soldagem. A montagem da manta foi feita unido as caixas com cola quente (Figura 54 a Figura 56).



Figura 54 - Caixas coladas com ferro. Segunda etapa, caixas unidas e coladas no sentido longitudinal com auxílio da pistola de cola quente (revestimento interno). Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 55 - Montagem e aplicação do revestimento interno. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 56 - Montagem e aspecto final do revestimento externo do reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.

v. Montagem final

Para a conclusão do protótipo uniu – se as partes. Afim de garantir um encaixe perfeito, utilizou-se um martelo de borracha (Figura 57).

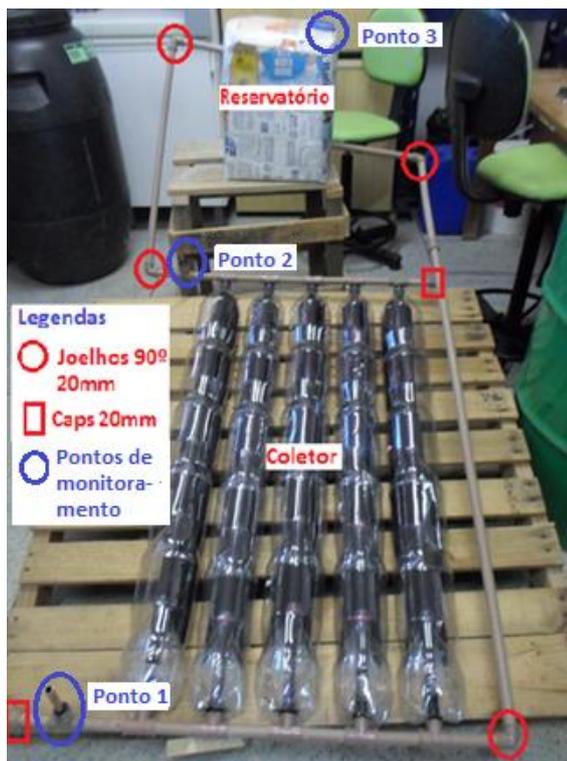


Figura 57 - Aspecto final do aquecedor. Fonte: Elaborado pela autora.

Para um perfeito funcionamento do aquecedor, a diferença de altura ou desnível do reservatório para o coletor deve ser entre 30 cm e 3 m, (Figura 58 e 63), dadas as limitações de pressão nos coletores alternativos, ou seja, circulação por termossifão (CELESC, 2005).



Figura 58 - Diferença de altura do coletor para o reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 59 - Medidas gerais do protótipo do aquecedor solar ecológico. Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Isolamento dos pontos de leitura do coletor

Para as leituras de dados do aquecedor, foram criados poços de leitura para os termômetros, isolados com isopor e copo descartável, ou pontos 1 e 2, garantindo assim a idoneidade dos dados obtidos com as medições, Figura 60.



Figura 60 - Procedimentos construtivos do sistema de isolamento dos tubos de cobre. Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Protocolo experimental leitura dos dados de aquecimento

O sistema de aquecimento de água foi monitorado durante o período dos meses que compreendem de agosto a setembro de 2014. Sendo alimentado com água do sistema tradicional de abastecimento somente uma vez, não sendo necessário um novo abastecimento por ser um modelo que visa resultados teóricos;

Os valores de potência da radiação solar foram adquiridos pelas leituras das temperaturas nos pontos 1 e 2, reservatório e temperatura ambiente, adquiridos com o uso de termômetro de precisão a álcool. Estes foram realizadas, respectivamente:

- 09 (nove) medições de temperatura de hora em hora, sendo compreendido no período das 09:00 as 17:00h;
- 10 (dez) medições de temperatura nos horários fixos as 09:00, 12:00 e 15:00h, com intervalos de leitura a cada 3h, cobrindo os horários de mínima, máxima e declínio da incidência solar do dia;
- 09 (oito) medições de temperatura nos horários fixos as 09:00, 13:00 e 17:00h, com intervalos de leitura a cada 4h, cobrindo os horários de mínima, máxima e declínio da incidência solar do dia;
- 05 (cinco) medições de temperatura nos horários fixos as 09:00, 12:00 e 17:00h, cobrindo os horários de mínima, máxima e declínio da incidência solar do dia.



Figura 61 - Procedimentos de leitura do aquecedor solar ecológico. Fonte: Elaborado pela autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Aquecedor Solar

Após análise dos Modelos de coletores convencionais e não convencionais de aquecimento de água, foi selecionado o modelo Aquecedor Solar de água com garrafas pet que melhor atende as exigências e perspectivas do presente projeto.

Os resultados obtidos serão discutidos e apresentados na forma de gráficos e tabelas.

A Figura 62 a representação dos pontos de leitura de dados do aquecedor solar e reservatório, onde o Ponto 1 representa o poço de medição de temperatura da água que entra no coletor o Ponto 2 representa o poço de medição da temperatura de água que sai coletor e o último ponto de coleta de temperatura sendo o reservatório. As temperaturas foram aferidas com o uso do termômetro de precisão de laboratório.



Figura 62 – Apresentação dos pontos de leitura do aquecedor solar e reservatório. Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados serão discutidos conforme mostrados Figura 63:

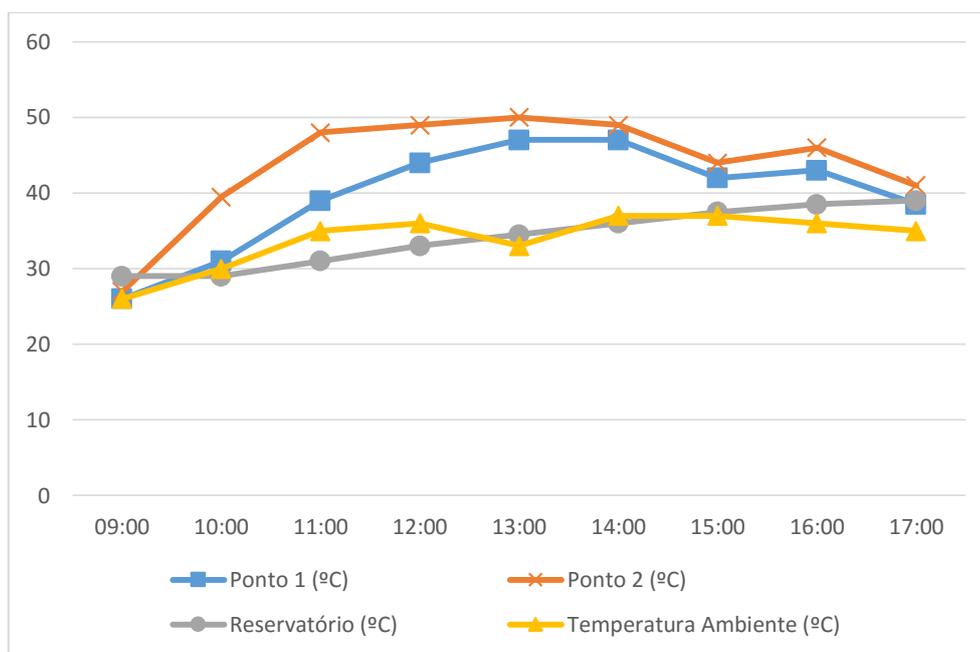


Figura 63 - Valores de temperatura do Aquecedor Solar, com período de intervalo de hora/hora do dia 14/08/2014. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 63 apresenta a evolução da temperatura do dia 14 de agosto de 2014, com leituras das 09h às 17h, com período de intervalo de hora em hora.

Note que:

- As temperaturas de todos os pontos de observação estão muito próximo dos 30° C no horário das 09h;
- As temperaturas do Ponto 1 e 2 possuem comportamento concomitante até a finalização da aquisição de dados as 17h;
- Fazendo uma comparação entre a temperatura do ponto 2 e a temperatura ambiente verificou-se que, em alguns momentos há um crescimento em ambas, reflete a correlação de ganho de calor do coletor em relação a temperatura ambiente;
- No horário das 13h, percebe-se que o ponto 1 e 2, temperatura ambiente e reservatório, respectivamente, alcança equilíbrio térmico seguindo até as 16h;
- A temperatura do reservatório continua a elevar-se mesmo que as temperaturas ambiente e do ponto 1 e 2 declinam, alcançando a temperatura de 39°C as 17h;
- Ao final da leitura todas os pontos chegam ao equilíbrio térmico, onde o reservatório conserva a temperatura adquirida durante o dia, enquanto a temperatura ambiente,

pontos 1 e 2 e declinam, ou seja, comprovando a eficácia do sistema de isolamento térmico em estado de repouso.

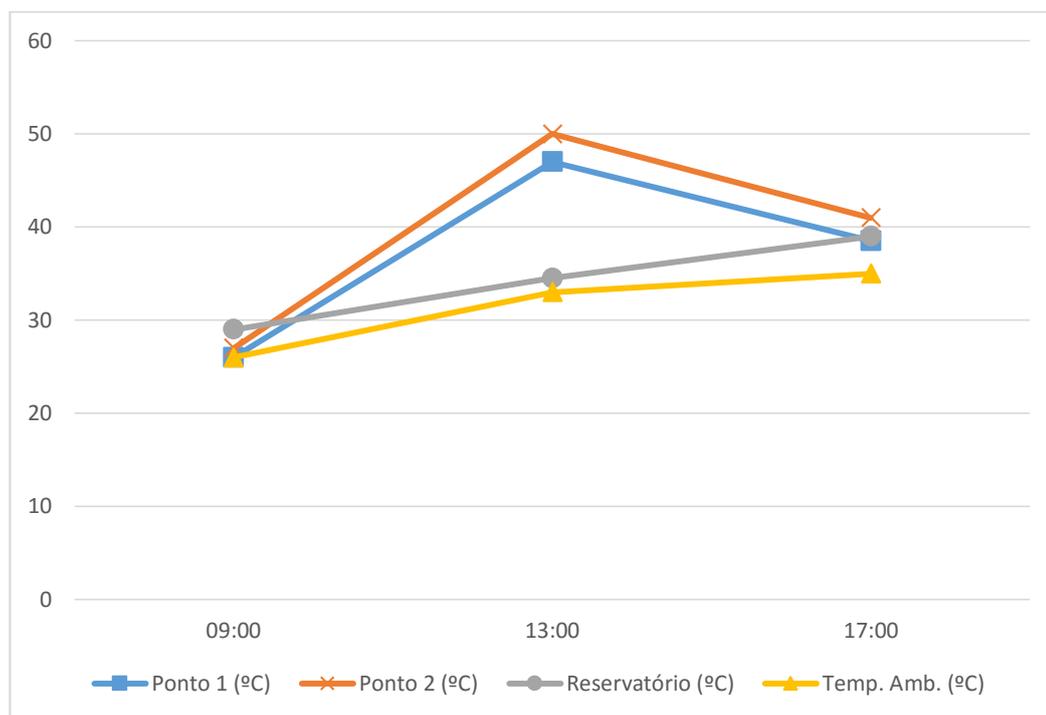


Figura 64 - Valores de temperatura do Aquecedor Solar, com leituras de 09/13/17h do dia 14/08/2014. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 64 apresenta as temperaturas do dia 14 de agosto de 2014, com leituras realizadas às 09, 13 e às 17h.

Note que:

- As temperaturas em todos os pontos de observação estão muito próximo dos 30° C no horário das 09h;
- As temperaturas em todos os pontos estão em linha ascendente de ganho de aquecimento, iniciando-se às 09h chegando ao ápice no ponto 2 com temperatura de 50°C no horário das 13;
- Ao final do dia todos os pontos chegam ao equilíbrio térmico, onde o reservatório conserva a temperatura adquirida durante o dia, enquanto a temperatura ambiente, pontos 1 e 2 e declinam, ou seja, comprovando a eficácia do sistema de isolamento térmico em estado de repouso.

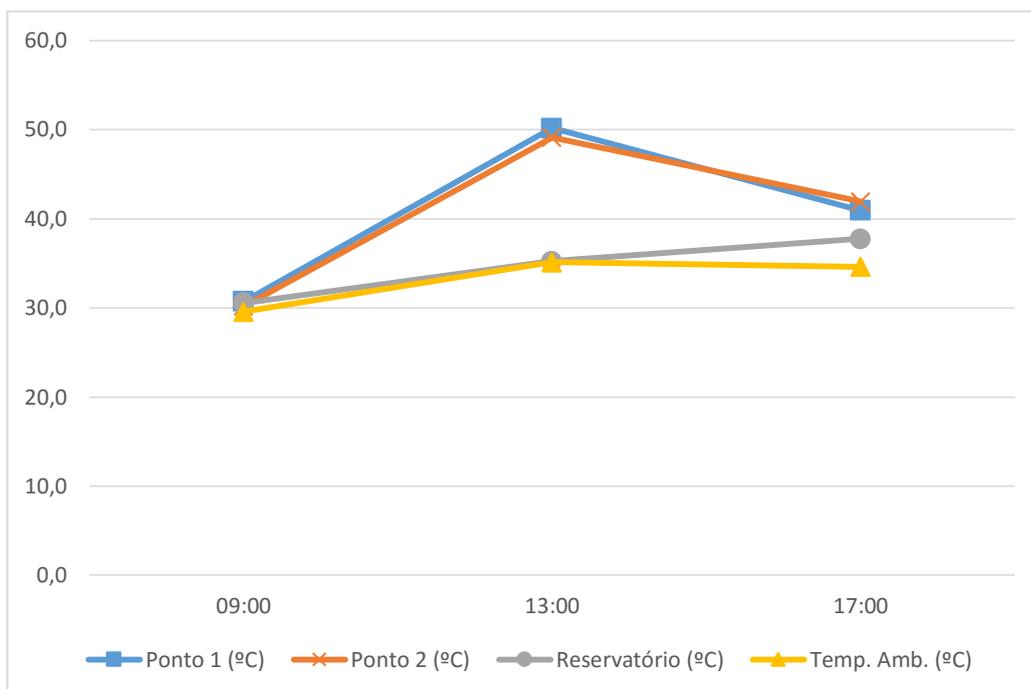


Figura 65 - Valores da média geral do Aquecedor Solar, com leituras de 09/13/17 h. Fonte: Elaborado pela autora.

Note que:

- Os comportamentos apresentados nas Figura 63 e Figura 64 repete-se nos valores da média geral do Aquecedor Solar ilustrado na Figura 65.
- Apresentando a partir das 09h ganho de temperatura do aquecedor solar com o ápice no horário das 13h. A partir deste as temperaturas dos pontos 1, 2 e a temperatura ambiente declinam enquanto o reservatório conserva a temperatura adquirida durante o dia.
- As informações coletadas e apresentadas comprovam a eficiência do aquecedor solar de água com o bom funcionamento do sistema de isolamento térmico em estado de repouso.

A Tabela 4 apresenta o orçamento de construção do sistema de aquecimento de água, este foi dimensionado e contabilizado para uma família de 03 (três) pessoas.

Tabela 4 - Orçamento para construção do sistema de aquecimento de água da chuva para uma família de 03 (três) pessoas.

Material de compra	Unidade	Quant.	Preço (Un)	Total (R\$)
Reservatório 200 l	Tambor	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Cano de PVC de 20mm de 6 m	Un	6	R\$ 12,45	R\$ 74,70
Conexão “T” 20mm soldável	Un	60	R\$ 0,83	R\$ 49,80
Rolinho para pintura 5 cm	Un	3	R\$ 2,75	R\$ 8,25
Joelho soldável 20 mm	Un	4	R\$ 0,44	R\$ 1,76
Tampão soldável de 20 mm	Un	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00
Adaptador PVC para Caixa d’água soldável de 20mm	Un	2	R\$ 10,80	R\$ 21,60
Luva de união 20mm	Un	6	R\$ 0,67	R\$ 4,02
Lixa para massa 80mm	Un	4	R\$ 0,77	R\$ 3,08
Thinner	Un	1	R\$ 9,80	R\$ 9,80
Cola para PVC	Tubo	1	R\$ 16,80	R\$ 16,80
Fita de Auto Fusão	Rolo	1	R\$ 18,55	R\$ 18,55
Garrafa pet 2 lt (coca- cola)	Un	180		R\$ 16,00
Caixinha de leite (lavadas)	Un	200		R\$ 20,00
			Total	R\$ 286,36

Fonte: Elaborado pela autora.

Para avaliação econômica usou – se valores referência obtidos de uma residência real no município de Palmas – TO, com três pessoas que utilizam o chuveiro três vezes ao dia e com duração do banho de 10 minutos.

Analisando o custo e o benefício da implantação do aquecedor solar para o caso acima, cujas despesas com a conta de energia elétrica é de R\$247,06, incluídos os impostos. Com um investimento inicial de implantação do aquecedor solar de R\$ 286,36, com custo de manutenção de R\$ 5,00/mês, apresentará uma economia de R\$ 79,20/mês, conforme cálculos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Apresentação dos cálculos para a avaliação econômica do aquecedor solar.

Descrição	Unidade	Qtd
Número de residentes	Pessoas	3
Número de banhos por pessoa	Banhos	3
Potencia chuveiro	kW	4,000
Tempo de banho	min	10
Custo do kWh residencial	R\$/kWh	0,44
Energia consumida - dia	kWh	2,000
Energia consumida - mês	kWh	60,000
Valor economizado por pessoa - mês	R\$/pessoa	26,40
Valor total economizado - mês	R\$	79,20

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio das informações obtidas da pesquisa pode-se realizar a comparação da viabilidade econômica ao optar por comprar e instalar um aquecedor convencional e construir e instalar um aquecedor solar ecológico. Para o primeiro foi realizado um investimento de R\$ 3.000,00 e o segundo de R\$ 286,36, a Tabela 6 apresenta os dados de comparação entre os dois investimentos para um período de 60 meses, foi adotado este período de meses devido ser o período de vida útil do modelo convencional.

Tabela 6 – Análise comparativa de investimento entre Aquecedor convencional e o ecológico.

Grandeza	Convencional	Baixo custo
Investimento inicial	R\$ 3.000,00	R\$ 286,36
Economia de energia	R\$ 79,20	R\$ 79,20
Custo de manutenção mensal	5	5
Período (meses)	60	60
Temperatura Máxima (°C)	80	53
Investimento/Varição de Temperatura (R\$/°C)	37,50	5,40
Vida útil (anos)	20	5

Fonte: Elaborado pela autora.

Para análise de viabilidade econômica, considerando que a taxa SELIC atual é de 13%a.a, ou seja, 1,07%a.m., e que o usuário que pretende melhorar sua qualidade de vida, adotou-se uma receita ou TMA de 2%/mês.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento obtida foi de 26% a.m e VPL de R\$ 1.117,05 ao final de um ano. Ao final dos 04 primeiros meses após instalação, o investidor terá pago o investimento inicial. Logo o empreendimento financeiramente viável como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise de investimento comparativo entre aquecedor solar convencional e ecológico.

Grandeza	Convencional	Baixo custo
TMA (a.m.)	2%	2%
VPL	R\$ 136,91	R\$ 1.117,05
TIR	2%	26%
Taxa de Financiamento	3%	3%
Taxa de Reinvestimento	1%	1%
MTIR	1%	5%
Pay Back (meses)	33,57	3,877

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda houveram alguns percalços ocorreram durante a implantação e monitoramento deste projeto, onde apesar de ter sido aprovado em dois editais, FAPT e UFT, não houve repasse do financiamento dos materiais e equipamentos necessários para a execução e monitoramento de dados de vazão e temperatura dos pontos relevantes a pesquisa, sendo a confecção do modelo por meio de resíduos da construção civil das instalações da UFT e as medições por meio de termômetros de laboratório e manualmente, apresentando erro de aproximadamente de 0,5° C nos resultados.

O protótipo de pesquisa foi instalado e monitorado em ambiente não controlado passível de alterações físicas do ambiente, ainda por diversas vezes foi alvo de sabotagem intencional ou não, ora pela quebra da calha pelos construtores e ora por uso da água do reservatório pelos trabalhadores da construção civil, perdendo assim informações e precisão importantes a pesquisa.

5.2 Replicação do Aquecedor

Como parte do projeto foi realizado a replicação do modelo portátil do Aquecedor Solar Ecológico para escolas, faculdades e professores pelo interior do Estado do Tocantins, figuras 67 a 69, com o intuito de popularizar o seu uso, bem como tornar-se uma ferramenta de aprendizado prático.

O seu modo de construção e funcionamento é o mesmo de um para uma família de grande porte. O reservatório foi usado do tipo Tupeware de 20 L, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, conseqüentemente o coletor sendo dimensionado para aquecimento a quantidade de água do reservatório, estas adaptações foram necessárias para facilitar a mobilidade para ser usado como instrumento de ensino.

As figuras 67 a 69 apresentam as oficinas e apresentações do modelo do aquecedor solar pelo Estado do Tocantins.

Figura 66 – Oficina construtiva do modelo do aquecedor solar em Guaraí com acadêmicos da FAG – Faculdade de Guaraí – 2013.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 67 – Apresentação do modelo do aquecedor solar a alunos de escolas públicas do ensino médio na Semana do Meio Ambiente – Palmas/TO, 2013.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 68 – Conjunto de fotos de oficinas construtivas do modelo do aquecedor solar realizadas com professores nos municípios de Gurupi, Guaraí, Tocantinópolis e Araguaína – 2013.



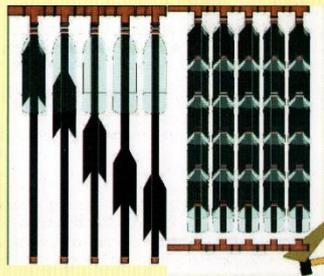
Fonte: Elaborado pela autora.

Como resultado do trabalho de pesquisa foram elaborados manuais do aquecedor solar ecológico (Fonte: Elaborado pela autora).

Figura 70 –Manual aprendendo como fazer um aquecedor solar. para serem distribuído para a comunidade participante das apresentações e oficinas, estes foram desenvolvidos em parceria com o Governo do Estado do Tocantins na Secretaria da Agricultura da Pecuária e do desenvolvimento Agrário, no período em que a autora esteve a serviço da mesma, observamos que por motivos alheio a nossa vontade não saiu a logo da UFT nos materiais impressos.

Figura 69 – Manual de construção passo a passo do Aquecedor Solar.

Essa fita isolará e colará o bocal na conexão "T" não permitindo que a coluna inteira se movimente.



MONTAGEM DA CAIXA

O Aquecedor Solar deve ser posicionado no telhado da residência, ou em uma área que receba o sol diretamente, e sem incidência de sombra de árvores, ou de prédios, casas, etc.



O coletor deverá ter a elevação de 2 cm a cada metro, tendo a inclinação voltada para a caixa, devesa ficar abaixo da mesma com variação de 30 cm a 3 m.

Resta agora, fixar o aquecedor no telhado e posicioná-lo de tal maneira que ele absorva a

maior quantidade de radiação solar possível. Para tanto será necessário posicionar o aquecedor de acordo com a Latitude de sua cidade mais 10° (Palmas possui latitude de 10°).



Criação: **Chryss Ferreira Macêdo**
Educatora Ambiental
9258 4275

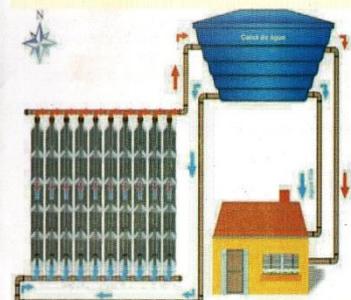


GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS
SECRETARIA DA AGRICULTURA, DA PECUÁRIA E DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO

3218 - 2154



AQUECEDOR SOLAR MANUAL DE CONSTRUÇÃO PASSO A PASSO



SUBSECRETARIA DA PRODUÇÃO DE ENERGIAS LIMPAS

OBJETIVO

Atualmente um dos maiores problemas enfrentados pela nossa sociedade é o destino dado ao lixo, sendo assim, no intuito de diminuir a quantidade de lixo a ser descartado na natureza, viemos através deste manual propor a construção de um aquecedor solar utilizando-se de embalagens de produtos domésticos que se tornariam lixo logo após sua utilização como: garrafa PET e caixa de leite longa vida. O aquecedor solar também contribui com a economia doméstica como alternativa econômica de energia elétrica aliada a uma consciência ambiental.

VOCÊ SABIA?

O tempo de decomposição da Garrafa PET e da Caixa de Leite Longa Vida são mais de 100 anos cada uma.

MATERIAIS E FERRAMENTAS

Lista abaixo do material necessário para 1 pessoa. Se na casa houver 4 pessoas, basta multiplicar os valores por 4.

60 Garrafas PET de 2 litros transparentes.
50 Embalagens Longa Vida de 1 litro pós-consumo.
11 Metros de Canos de PVC de 20 mm ½"
20 Conexão T em PVC de 20 mm ½"

Ferramentas e peças necessárias para a confecção que independem do número de pessoas a utilizar o aquecedor:

01 Fita de auto fusão 19mm x 10mm;
01 Rolo de 20 cm de espuma;
01 par luvas para pintura;
01 Estilete;
01 Litro de tinta esmalte sintético preto fosco,
01 Martelo pequeno de Borracha;

01 Lixa d'água 100;
01 Cola para tubos de PVC com pincel em pote;
01 Arco de Serra
01 Fita crepe com largura de 19mm x 10mm
04 Conexão L (Luva) em PVC de 20 mm ½"
02 Tampão em PVC de 20 mm ½"

OBSERVAÇÃO

Lavar as Garrafas PET com água e deixar secar. As Caixas de Leite, necessitam de uma lavagem mais cuidadosa para evitar a proliferação de microorganismos e mau cheiro.

CAIXA DE LEITE

As caixas devem ser recortadas e dobradas da seguinte forma:

- 1- Com a caixa de leite montada, descolar as orelhas (a) dos quatro cantos.
- 2- Em seguida precione a caixa para que ela amasse e fique planificada, corte com 22,5cm de comprimento e dobre as laterais, nos vincos (b) existentes na caixa.
- 3- A caixa com as laterais dobradas.
- 4- Debe-se pontar (d) em diagonal para ajusta-la ao decerto da garrafa e também as duas pontas da parte inferior (e) no corte de 7cm, para o encaixe da próxima garrafa. Obs.: todas as pontas dobradas para baixo.



Toda a tinta utilizada nas caixas e nos canos deverá ser esmalte sintético preto fosco, secagem rápida para exteriores e interiores. Para um melhor aproveitamento da tinta, espalhe as caixas devidamente planificadas lado a lado, pintando várias de uma só vez com um rolo de pintura.

GARRAFAS

São dois tipos de garrafas PET pós-consumo

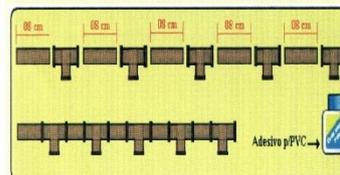
que utilizamos na construção do aquecedor solar, dando preferência às garrafas transparentes (lisas), cinturadas da marca Coca Cola e da marca Pepsi. Pode-se trabalhar com mais de um tipo no sistema desde que na coluna seja usada do mesmo tipo para melhor encaixe. Para cortar as garrafas, marque 31 cm e cortar com o auxílio de um estilete ou uma tesoura.

IMPORTANTE

Cada 1 garrafa aquece 1 litro de água.

CANOS E TUBOS

A ligação de uma coluna para outra é feita cortando-se 8,0 cm desse tubo e aplicando-se conexões do tipo "T" para 20 mm. Ao montar, utilizar cola para tubos de PVC prevenindo vazamentos no barramento superior, não sendo necessário para o barramento inferior, para futura manutenção no sistema.

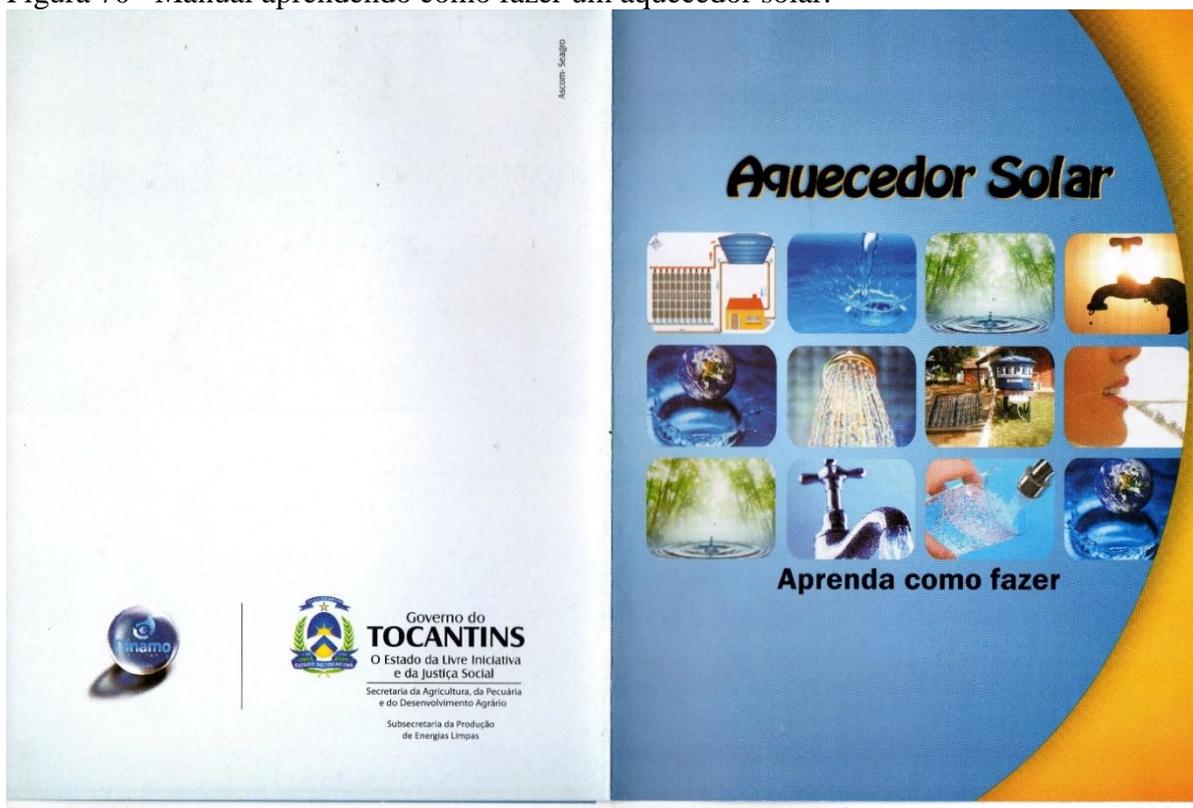


MONTAGEM DO AQUECEDOR

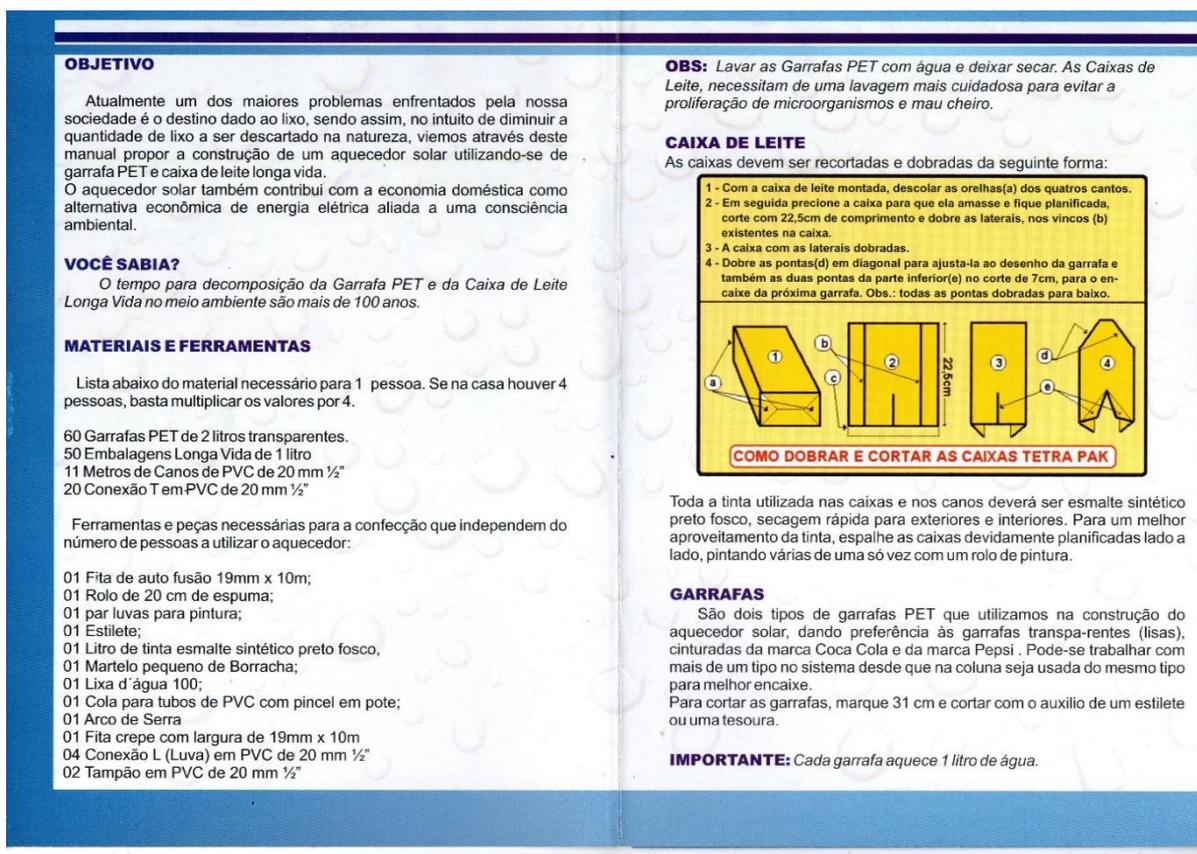
As 5 garrafas devem ser bem encaixadas e colocada uma a uma e sempre com uma caixa de leite pintada de preto a 6° (sexta) garrafa é para dar um melhor acabamento com isso o tamanho dela é menor e não usa a caixa leite.

No bocal da primeira garrafa que está encostado na conexão "T" um pedaço de fita de auto fusão.

Figura 70 –Manual aprendendo como fazer um aquecedor solar.



(a)



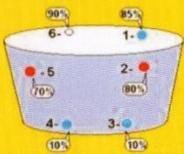
(b)

MONTAGEM DA CAIXA

O Aquecedor Solar deve ser posicionado no telhado da residência, ou em uma área que receba o sol diretamente, e sem incidência de sombra de árvores, ou de prédios, casas, etc.

PERCENTUAIS RELATIVOS A ALTURA DA CAIXA

- 1- Entrada de água fria (boia)
- 2- Saída de água quente (p/consumo)
- 3- Saída de água fria (p/consumo)
- 4- Saída de água fria (para o coletor)
- 5- Retorno de água quente (do coletor)
- 6- Suspiro ou ladrão



O coletor deverá ter a elevação de 2 cm a cada metro, tendo a inclinação voltada para a caixa, devesse ficar abaixo da mesma com variação de 30 cm a 3 m.

Resta agora, fixar o aquecedor no telhado e posicioná-lo de tal maneira que ele absorva a maior quantidade de radiação solar possível. Para tanto será necessário posicionar o aquecedor de acordo com a Latitude de sua cidade mais 10° (Palmas possui latitude de 10°).

DESNIVEL DO COLETOR

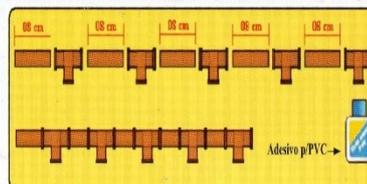
Verifique que ao elevar uma coluna você eleva a outra, observe nos suportes. Não confundir o desnível com a inclinação do coletor em relação a latitude local. As flechas indicam o sentido de água no coletor.



Criação: **Chryss Ferreira Macêdo**
Educadora Ambiental
63.9258.4275

CANOS E TUBOS

A ligação de uma coluna para outra é feita cortando-se 8,0 cm desse tubo e aplicando-se conexões do tipo "T" para 20 mm. Ao montar, utilizar cola para tubos de PVC prevenindo vazamentos no barramento superior, não sendo necessário para o barramento inferior, para futura manutenção no sistema.

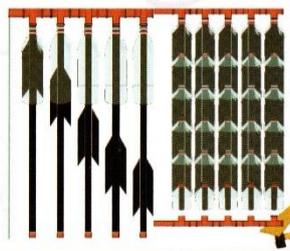


MONTAGEM DO AQUECEDOR

As 5 garrafas devem ser bem encaixadas e colocada uma a uma e sempre com uma caixa de leite pintada de preto a 6° (sexta) garrafa é para dar um melhor acabamento com isso o tamanho dela é menor e não usa a caixa leite.

No bocal da primeira garrafa que está encostado na conexão 'T' um pedaço de fita de auto fusão.

Essa fita isolará e colará o bocal na conexão 'T' não permitindo que a coluna inteira se movimente.



(c)

Fonte: (a), (b) e (c). Elaborado pela autora.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho dimensionou, construiu e instalou um aquecedor solar ecológico construído com a utilização de materiais alternativos (garrafa pet e caixas longa vida) nas dependências UFT – Campus Palmas. Ao comparar a máxima temperatura obtida pelos coletores convencional, 80°C, com um custo total de R\$ 3.000,00, e o aquecedor solar ecológico alcançando 53°C. O este último é constituído por materiais de fácil acesso e construção no modelo faça você mesmo, com custo total de R\$ 286,36. Ao fazermos a comparação a cada variação de temperatura do convencional este custará R\$ 37,50 enquanto que o modelo ecológico custará R\$ 5,40.

Então, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que a aplicabilidade do aquecedor solar ecológico como tecnologia social torna-se viável a implantação em residências de baixa renda, onde poderá vir a economizar cerca de 33,27% na substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor. Então para um investimento inicial de R\$ 286,36, conseguirá após os 04 primeiros meses recuperar o investimento inicial e obter um lucro adicional no final de 12 meses de R\$ 950,40. Desta maneira poderá propiciar melhora da qualidade de vida a população, além de dar uma destinação nobre aos resíduos sólidos, garrafa pet e caixa longa vida produzidos, contribuindo assim para aliviar o volume nos aterros sanitários.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para replicação deste projeto sugiro algumas melhorias, sendo elas:

- Para melhor resultado do isolamento térmico do revestimento do reservatório, deverá ser mantido a estrutura física das caixas longa vida para o primeiro revestimento assim mantendo o maior volume de ar;
- Para evitar maiores perdas de temperatura entre o coletor e o reservatório, sugiro a pintura de preto fosco e o isolamento com a manta de caixas longa vida em toda a extensão de canos que os conectam;
- Para que ocorra um caimento da água da chuva pelas calhas é necessário que tenha inclinação de 1% no sentido do caimento para os bocais (descidas de água);
- Apesar das calhas serem leves precisam de suportes resistentes para que não haja flexionamento para quando elas estiverem cheias de água, devem ser instalados de 60 em 60cm, para que não haja excesso de esforço pelos suportes;
- As calhas que tenham extensão maior do que 12 m deve-se colocar um cano condutor para auxiliar no escoamento da água da chuva;
- Para maior precisão das informações sobre a eficiência na captação da água da chuva, recomenda-se a instalação medidor de vazão, balança para medir evapotranspiração.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). Atlas de energia elétrica. 2. ed. Brasília. 2005. Disponível em: Acessado em: 25 mar 2015

ABEEólica. Tocantins vai isentar ICMS da microgeração de energia. Disponível em: <http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/1514-tocantins-vai-isentar-icms-da-microgera%C3%A7%C3%A3o-de-energia.html>. Acessado em: 22 mar 2015

ABNT. Agencia Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844 – 89. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4510> . Acessado em: 25 mar. 2015.

Agencia Internacional de Energia. Disponível em: <http://www.lneg.pt/networks/7> . Acessado em: 24 fev. 2015

Instituto Ciência Hoje. (2010). Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/a-descoberta-que-mudou-a-humanidade> . Acessado em: 24 fev. 2015

ANA – Agência Nacional de Águas. (2002); A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília; ANA. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx> . Acessado em: 24 mar. 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2012); Relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Informe 2012. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=10743 . Acessado em: 24 mar. 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia. 2015. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4101&id_area=90. Acessado em: 20 abr. 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil.2002. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> . Acessado em: 12 mar. 2015

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> . Acessado em: 20 mar 2015

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Tarifas Residenciais Vigentes. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>. Acessado em: 12 mar. 2015.

ARQTEMA. Grupo de Pesquisa em arquitetura, tecnologia e materiais, materiais de construção III: Polímeros na Arquitetura e na construção civil, São Carlos: EESC – USP. 247p.

ARREDONDO, H. I. V. Análise exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis. Dissertação de doutorado em Engenharia Mecânica – USP, 2009.

BARRETO, D. (2006); Programa de economia de água para edifícios. *Téchne. Revista de Tecnologia da Construção*, 114.

BEN. Balanço Energético Nacional 2015. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. BEN 2012. Ano Base: 2014. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf . Acesso em: 26 fev. 2015.

BERMANN, Célio. Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001.

BORGES, T., SOLPET- Pré-Aquecedor solar de água de material reciclado e pequeno investimento para uso em casas populares. Disponível em: <http://www.docstoc.com/docs/166451997/SOLPET-Pr%25C3%25A9-Aquecedor-solar-de-%25C3%25A1gua-de-material-reciclado-e-pequeno-investimento-para-uso-em-casas-populares> . Acessado em: 15 mar. 2015

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Tecnologias sustentáveis em sistemas urbanos (2010). Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao24022011094307.pdf . Acessado em: 15 mai 2015

BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 2.914/11. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html . Acessado em: 24 mar. 2015

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei Nº 9.433/97. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/L9433.htm . Acessado em: 18 mai 2015

BRASILIT. Catálogo Técnico – Ondulada Brasilit. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/pdf/catalogo-tecnico-telha-ondulada-brasilit.pdf> . Acessado em: 24 mai. 2015

CALLISTER, Jr., William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CELESC. Aquecedor solar composto de produtos descartáveis - manual de construção e instalação. Ano: 2005. Disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/manuais/manual-aquecedor-solar.pdf> . Acessado em: 24 fev. 2015.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.cepel.br/> . Acessado em: 24 fev. 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reuso-de-%C3%81gua>. Acessado em: 24 mar. 2015.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2011). Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br> . Acessado em: 24 mar. 2015.

CORDERO, A. Apostila de Hidráulica. 2010. Disponível em:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA60oAL/apostila-hidraulica> . Acessado em: 19 mai 2015

CRESESB. Atlas Solarimétrico do Brasil. Disponível em:
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf . Acessado em: 22 mar 2015.

DUFFIE, J. A. BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2 ed. New York; John Wiley & Sons. 919 p, 1991.

IEA. International Energy Agency. Market Analysis and Forecasts to 2020 (2014). Disponível em: <https://www.iea.org/Textbase/npsum/MTrenew2014sum.pdf> . Acessado em: 20 mar 2015

EPE. Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. Balanço energético nacional 2012: Ano base 2011. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em:
https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf . Acessado em: 26 fev. 2015

EPE. Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Disponível em:
[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf) . Acessado em: 12 mar 2015

FANTINELLI, J. T. Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares: estudo de caso em Contagem-MG. Disponível em:
<http://bit.ly/jOQeB4> . Acessado em: 31 mar. 2015.

FENDDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de utilização das águas pluviais. 1ª Edição. Curitiba: Editora Livraria do Chain, 2002.

FROTA, A. B. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. 5 ed. São Paulo, Studio Nobel, 2001.

GHISI, E., GUGEL, E. C., Instalações prediais de águas pluviais. 2005. Disponível em:
http://www.labee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/AguaPluvial_EGhisi_atualizada.pdf . Acessado em: 24 mai. 2015

GLOBO RURAL. Caído do céu - Coletor de água da chuva que escorre do telhado é simples e elimina a sujeira. Disponível em:
<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1208228-4528,00.html>. Acessado em: 01 abr. 2015.

GNADLINGER, J. Colheita da água da chuva em áreas rurais. In. FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2, 2000, Hague. Anais eletrônicos. Disponível em:
<http://www.irpaa.org.br/colheita/indexb.htm> . Acessado em: 22 mar 2015.

HALLIDAY, D. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Rio de Janeiro, LTC, 2013.

HIRSCHFELD. H. Engenharia Econômica e Análise de Custos. 7ª Edição. São Paulo, Atlas, 2010.

HAWKEN, P. Lovins, A.; Lovins, H. (2007); Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Ed. Cultrix.

JORGE, N. Embalagens para alimentos / Neuza Jorge. – São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-reitora de Graduação, 2013

LAVADO. A. L. C. Os actuais desafios da energia. implementação e utilização das energias renováveis (2009). Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/1447/1/20901_ulfc080580_tm.pdf . Acessado em: 20 mar 2015.

KASSAI, José Roberto. et al. Retorno de Investimento – Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial. São Paulo: Ed. Atlas SA, 2000.

PEREIRA. E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos (2006). Disponível em: http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf . Acessado em: 15 set 2015

MILITO, J. A. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. Disponível em: <http://edificios>. Acessado em: 19 mai 2015

MORAN, M. J.; SHAPIRO. H.N. princípios de Termodinâmica para Engenharia, 6ª edição, 2009.

MAB - Movimento dos Atingidos por Barragens. Disponível em: <http://www.mabnacional.org.br/>. Acessado em: 18 mar 2015.

PAIM, M.V. A Energia Solar: Alternativas. São Paulo: Scipione, 1994.

PALZ, Wolfgang. Energia Solar e Fontes. Alternativas. São Paulo: Hemus Livraria Editora.Limitada,1981

RIO DE JANEIRO. Câmara Municipal do Rio de Janeiro. Lei nº 5.279/11. Disponível em: <http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/7cb7d306c2b748cb0325796000610ad8/48152a63e6687ea0832578bc006b090a?OpenDocument> . Acessado em: 24 mar 2015.

RODRIGUES. D, MATAJS. R. Um banho de sol para o Brasil: o que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e sociedade. São Lourenço da Serra: Vitae Civillis, 2004. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/mestradoenergia/UmBanhoDeSol.pdf> . Acessado em: 26 fev. 2015.

ROSA, C. A. P. História da ciência : a ciência e o triunfo do pensamento científico no mundo contemporâneo (2012). Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/1022-Historia_da_Ciencia_-_Vol.III_A_Ciencia_e_o_Triunfo_do_Pensamento_CientIfico_no_Mundo_Contemporaneo.pdf . Acessado em: 26 fev. 2015.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Lei nº 12.526/2007. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html> . Acessado em: 24 mar. 2015.

SEMPRE SUSTENTÁVEL. Manual de construção e instalação - Aquecedor solar de água feito com tubos de pvc. 2012. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/> . Acessado em: 24 mar. 2015.

TIRADENTES, A. A. R. Uso da energia solar para geração de eletricidade e para aquecimento de água. 2006. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABRn8AE/monografia-atato-tiradentes?part=4> Acessado em: 13 mar. 2015

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. 2015. . Disponível em: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf . Acessado em: 24 mar. 2015.

PAGANI, M C. Na caixinha de leite, o frescor da população. Jornal da UNICAMP 2001. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/jan2001/pagina3-Ju158.html. Acessado em 20 jun 2015.

Sociedade do Sol. Manual de manufatura e instalação experimental do – asbc -aquecedor solar de baixo custo.2009. Disponível em: <http://www.sociedadedosol.org.br/wp-content/uploads/2013/07/manual-do-asbc-maio2010-v3-0.pdf> acessado em: 20 abr 2015.

USP. Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.usp.br/qambiental/tefeitoestufa.htm> . Acessado em: 25 mai 2015.

VAN WYLLEN, Gordon J. Fundamentos da termodinâmica clássica. São Paulo: Blucher, 1995

WEISS, Werner; MAUTHNER, Franz. Solar heat worldwide: markets and contribution to the energy supply 2009. Disponível em: http://www.cansia.ca/sites/default/files/policy_and_research/2009_iea_solarheatworldwide.pdf . Acessado em: 31 mar. 2015.

YOUNG, Hugh D. Física II: Termodinâmica e ondas. 12. Ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZAIZEN, T. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. Elsevier. 1999. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/urbwat> . Acessado em: 24 mar. 2015.