

## CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR COM MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA DUCHAS RESIDENCIAIS E ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

Iara Ferreira de Rezende Costa<sup>1</sup>, Ana Rosa Pessoa Ruppim<sup>1</sup>, Anna Beatriz Guimarães Sicupira<sup>1</sup>, Emily Machado Jardim<sup>1</sup>, Rafaella Souza Santos Oliveira<sup>1</sup> e Alcino de Oliveira Costa Neto<sup>1</sup>

1. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET), Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.

### RESUMO

O Brasil apresenta o maior potencial hídrico do mundo e elevados índices de irradiação solar. Privilegiado por deter um grande potencial energético de fontes limpas e renováveis, o país é referência mundial em produção de energia limpa, mas, também, em consumo e desperdício de energia elétrica. Nesse sentido, os aquecedores de água do tipo solares apresentam-se como uma alternativa para otimizar a gestão desses recursos e diminuir o seu consumo. Este trabalho objetiva produzir um aquecedor solar de baixo custo e analisar os resultados de sua implementação. O equipamento desenvolvido destinou-se a abastecer exclusivamente o ponto de utilização de uma ducha em residência unifamiliar. Na composição do aquecedor, utilizaram-se coletores solares constituídos de PVC rígido e uma bombona de plástico reutilizável como reservatório térmico. Para avaliação dos benefícios da implantação de uma instalação completa foi realizada a comparação entre o aquecedor solar desenvolvido e o modelo comercial convencional. Os resultados de eficiência e custo mostraram-se satisfatórios ao longo do estudo. O desenvolvimento de equipamentos de baixo custo impacta diretamente na maior adesão ao sistema, pois beneficia o usuário tanto através da consciência ambiental quanto na redução das faturas cobradas através das concessionárias de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Aquecedor solar, Energia solar e PVC.

### ABSTRACT

Brazil has the highest water potential in the world and high rates of solar irradiation. Privileged for having great energy potential from clean and renewable sources, the country is a world reference in clean energy production, but also in consumption and waste of electric energy. In this sense, solar water heaters present themselves as an alternative to optimize the management of these resources and reduce their consumption. This work aims to produce a low cost solar heater and analyze the results of its implementation. The equipment developed was intended to supply exclusively the point of use of a shower in a single-family residence. In the composition of the heater, solar collectors made of rigid PVC and a reusable plastic

drum were used as thermal reservoir. In order to evaluate the benefits of implementing a complete installation, a comparison was made between the solar heater developed and the conventional commercial model. The efficiency and cost results were satisfactory throughout the study. The development of low-cost equipment has a direct impact on the greater adherence to the system, since it benefits the user both through the practice of environmental awareness and in the reduction of bills charged by the electric energy concessionaires.

**Keywords:** Solar heater, Solar energy and PVC.

## 1. INTRODUÇÃO

Há pouco mais de cem anos, uma nova tecnologia transformaria a vida das pessoas: a energia elétrica. Devido à sua facilidade de transporte e ao baixo índice de perda durante as conversões, é, atualmente, uma das formas de energia mais utilizadas e elemento fundamental para a garantia da dignidade humana, trazendo conforto, comodidade e praticidade.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO, 2017), o Brasil é um grande produtor de energia devido à sua extensão territorial e ao clima favorável. Baseado nos dados da Agência Internacional de Energia (IEA), a *Key World Energy Statistics* de 2013 mostra que o Brasil ocupa a nona posição no ranking de maiores produtores de energia do mundo, ficando em terceiro quando se trata de produção de energias renováveis. Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), a fonte hídrica é detentora do maior percentual de geração de energia elétrica dentro do território brasileiro, atingindo 65,2% da geração total do país, em 2017.

A crise econômica brasileira dos últimos anos provocou novos hábitos de consumo na população. As indústrias de aquecedores solares cresceram significativamente, colocando o país no terceiro lugar mundial na utilização dessa tecnologia. Todavia, os aquecedores solares tradicionais têm um alto custo e o retorno de economia financeira é alcançado somente a longo prazo. A popularização dos aquecedores solares no país foi sustentada pela demanda gerada pelos programas de habitação social, como o *Minha Casa Minha Vida* (MCMV). Conforme Brasil (2019), desde 2012 o Governo Federal passou a exigir a instalação dos sistemas de aquecimento solar em casas térreas em áreas urbanas de todo o país destinadas a famílias enquadradas na faixa 1 (renda mensal até R\$ 1.800,00).

Baseado no potencial solar disponível no Brasil e visando a economia de energia elétrica, este trabalho objetiva construir um sistema de aquecimento solar completo com materiais alternativos a ser utilizado em uma ducha residencial para aquecimento da água

fria e, posteriormente, avaliar os benefícios da sua implantação. Especificamente, este trabalho objetiva realizar um levantamento das possibilidades de construção de um aquecedor solar de baixo custo (ASBC) utilizando materiais alternativos; apresentar as características do Policloreto de Vinila (PVC) e as possibilidades de utilização na construção de um ASBC; comparar o aquecedor solar convencional com o alternativo com enfoque no custo e calcular a eficiência do ASBC.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A montagem do protótipo deste trabalho foi realizada com o auxílio do Manual ASBC (2009) e do Manual Coletor Solar (2012). O roteiro a seguir apresenta a montagem de um sistema de aquecedor solar segundo os referidos manuais.

1. Para o esqueleto dos coletores, ou seja, os tubos mais externos, deve-se colocar o primeiro tubo de PVC de 40mm de diâmetro e 70cm de comprimento sobre a tábua. Fixar com pregos, dando firmeza ao conjunto. Com o lápis e a régua, demarcar a área do rasgo de 25mm de diâmetro x 1cm de afastamento entre eles;
2. Fazer um rasgo interno na área demarcada. Poderá utilizar uma furadeira serra copo de 25mm;
3. Com a lixa, dar acabamento nas superfícies cortadas e arredondar as extremidades do rasgo. Limpar com álcool; Repetir a sequência de 1 a 3 no outro tubo de PVC 40mm de diâmetro. Cortar os tubos de PVC de 25mm com o comprimento de 1,44m. Depois de cortados, lixar nas superfícies. Para esses tubos serem encaixados nos de 40mm, é necessário vedar com cola Araldite®;
4. Depois de colar todo um lado, aguardar trinta minutos e virar o coletor para colar a outra lateral. Unir bem a colagem do lado em questão com a do outro lado para evitar vazamentos; Teste de Vazamento: Tampar três extremidades com caps de 40mm e, na outra extremidade, um joelho de 90° com um tubo de 3m de comprimento na vertical (altura ideal). Completar com água e observar durante quinze minutos se não há vazamento nas regiões que foram coladas. Se houver, reforçar a cola e refazer o teste;
5. Pintar os tubos com esmalte sintético preto fosco usando pincel ou rolo, inclusive sobre a área da colagem e parte superior dos tubos;

6. Fazer uma placa preta ou pintada de preto de um material resistente ao tempo de 144cm x 70cm;

7. Para amarrar a placa atrás do coletor, utilizar fios de PET. Fazer primeiro um pequeno corte bem abaixo de onde vai ficar um dos tubos. Passar o fio de PET por esse corte, laçar o tubo e retornar pelo mesmo corte. Repetir o procedimento de lado a lado, amarrando nas pontas;

Para a montagem de dois ou mais coletores é necessário a utilização de luvas soldáveis para uni-los. Uma vez coladas, não será mais possível mexer nos coletores, caso tenha de fazer alguma alteração.

### **2.1.1. Montagem do reservatório térmico**

A escolha do reservatório depende do volume de água que deseja armazenar, do espaço disponível para sua instalação e dos recursos financeiros disponíveis. Para furar as entradas e saídas de água é necessário usar uma furadeira com serra tipo copo. Com uma lixa grossa, fazer o acabamento arredondando o interior da circunferência. Medir o diâmetro exato de cada furo, deixando o mínimo de folga suficiente para encaixar os flanges.

Furo 1 - Entrada de água fria: Em um dos lados no alto do reservatório, de acordo com o diâmetro do flange da torneira de boia.

Furo 2 - Saída de água para os coletores: O mais baixo possível, de preferência do mesmo lado do Furo 1.

Furo 3 - Saída de água para consumo: Centro do reservatório. Caso o mesmo seja menor que 300 l, o furo deverá estar entre o meio e o fundo.

Furo 4 - Entrada (retorno) de água dos coletores: Próximo ao centro do reservatório e do lado oposto ao furo 2.

Furo 5 – Respiro: O mais alto possível.

### **2.1.2. Instalação**

Os coletores devem ficar fora do telhado, expostos ao Sol e ao Norte. Assim, receberão mais luz solar durante o inverno. Para correto funcionamento, é obrigatório que os coletores estejam abaixo do nível inferior do reservatório térmico e com uma inclinação de, aproximadamente, a latitude local acrescida de 10°, conforme NBR 12269 (2006).

### 2.1.3. Coletor solar

Durante a execução do protótipo, foram necessárias algumas adaptações devido ao local de implantação do projeto. De acordo com a NBR 7198 (ABNT, 1998) e com a NBR 15569 (2008), o aquecimento de água para o banho deve considerar o consumo de 50 litros de água quente por pessoa. Considerando que a residência na qual o protótipo foi instalado possui três moradores, o coletor foi dimensionado para a capacidade de 150 litros de água.

Segundo Paganin et al. (2019), para o dimensionamento do coletor solar, considera-se que a cada 1m<sup>2</sup> da área do coletor, o sistema aquece 100 litros de água.

Para o dimensionamento da placa do coletor, serão analisadas, inicialmente, as placas de forro PVC, uma vez que as mesmas servem de suporte para o coletor confeccionado com os tubos de mesmo material. Considerando os volumes estabelecidos acima e as dimensões comerciais, as placas deverão apresentar as medidas de 1,44m x 0,70m. A Equação 1 representa o cálculo da área de uma placa de forro PVC para determinar quantas placas serão necessárias à execução do protótipo.

Eq. 1

$$Ap = b \times h$$

$$Ap = 1,00m^2$$

Onde:

$Ap$  = Área da placa de PVC (m<sup>2</sup>);

$b$  = Largura da placa de PVC (m);

$h$  = Altura da placa de PVC (m).

Assim, para atender os 150 litros de água necessários para a instalação, foram utilizadas duas placas de forro PVC (Figura 1).



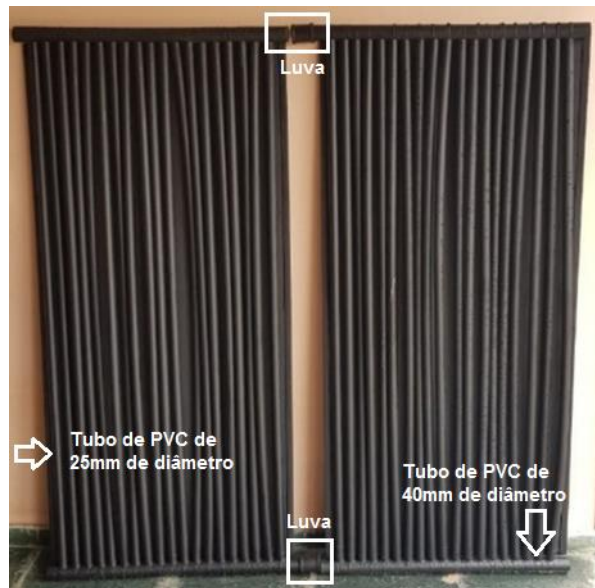
**Figura 1.** Placas de forro PVC.

O coletor com os tubos de PVC é confeccionado a partir do encaixe de tubos de 25mm de diâmetro em tubos de 40mm, conforme relatado anteriormente no Manual ASBC (2009). Foram realizados dezenove furos nos tubos de 40mm, com o espaçamento de 1cm entre eles. Estes tubos ficam nas extremidades superior e inferior da placa. Por isso, apresentam 0,7m de comprimento. Da mesma forma, para os tubos de 25mm foi mantido o comprimento da altura da placa de 1,44m. Utilizou-se cerca de 55m deste tubo, visto que foi preciso serrar 38 tubos para confeccionar os dois coletores. Os tubos de PVC foram fixados na placa de forro PVC com o auxílio de algemas descartáveis representadas na figura 2. Além disso, após serem feitas as devidas conexões já mencionadas, foram usadas duas luvas para unir as placas conforme a figura 3.



**Figura 2.** Algema descartável.

Fonte: Cerco Militar, 2019.



**Figura 3.** Coletor com ligações.

Vale ressaltar que todos os tubos de PVC foram serrados, lixados e conectados com o auxílio da cola Araldite®. Foi utilizada a tinta preta fosca Coral para pintar todo o coletor a fim de absorver com mais eficiência a radiação solar (Figura 4).



**Figura 4.** Tinta e cola utilizadas.

O próximo passo consistiu em fazer as ligações necessárias para o funcionamento do coletor solar, ou seja, a entrada de água fria proveniente do reservatório térmico e a saída de água quente com destino ao mesmo local. Foram utilizados dois joelhos de 90° para fazer as mudanças de direção e dois caps para fechar as extremidades do coletor (Figura 5).



**Figura 5.** Conexão da placa de PVC com os tubos de PVC

Para se estabelecer o diâmetro da coluna de água quente proveniente do boiler e que irá abastecer a ducha, foram utilizadas algumas considerações da NBR 5626 (1998) – uma vez que o dimensionamento de tubos de PVC segue o padrão da água fria. A ducha apresenta um peso relativo de 0,4 e a vazão de projeto de 0,20l/s. Os pesos têm relação direta com os diâmetros mínimos necessários para o funcionamento das peças. A interligação entre os dois parâmetros é realizada a partir do nomograma de pesos, vazões e diâmetro (CREDER, 2006).

Ao analisar o nomograma, a tubulação que alimenta a ducha deverá ter um diâmetro mínimo de 20mm através da vazão de 0,38l/s representado na figura 9, sendo aconselhável utilizar 25 mm (devido ao tracejado presente no nomograma ao representar os valores dos diâmetros).

Entretanto, ao realizar o cálculo com a ducha aberta durante o período de 60s, foram obtidos 23l de água em um recipiente. A partir desses dados, é possível obter o valor da razão de acordo com a Equação 2:

Eq. 2

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = 0,38 \text{ l/s}$$

Onde:

Q= Vazão da água da ducha (l/s)

V= Volume da água da ducha (l)

t = Tempo(s)



Consultando novamente o nomograma, com o resultado de 0,38l/s é perceptível que a tubulação indicada para o projeto é de 25mm.

#### 2.1.4 Reservatório

O reservatório empregado para o protótipo foi uma bombona reutilizada, constituída de PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Segundo Lorandi (2016), o PEAD é utilizado na confecção de bombonas, tanques e tambores devido à sua alta resistência à queda, ao empilhamento e à uma considerável variação de temperatura. A bombona utilizada para este protótipo funcionava, até então, como um reservatório de produtos químicos. Por isso, foi submetida a um processo de lavagem para retirada de alguns resquícios no seu interior.

A Equação 3 representa o cálculo da altura da bombona para comportar um volume de 150l, considerando, ainda, o seu diâmetro (55cm).

$$V = \frac{\pi D^2 \times h}{4} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

V= volume da bombona (m<sup>3</sup>)

D= Diâmetro da bombona (m)

h = Altura da bombona (m)

A partir dos valores anteriores, a altura encontrada foi de 0,64m. Devido a bombona não ser um cilindro regular, para questões de dimensionamento e praticidade matemática, todos os cálculos realizados foram adotados com o reservatório na posição vertical, conforme figura 6. Além disso, foram feitos cortes para acoplar os flanges que têm como função conectar os tubos de PVC de 40mm e a tubulação de respiro, responsável pela estabilização de pressão do sistema, permitindo entrada e saída de ar.

A altura mínima entre a ponta superior do coletor e o fundo do reservatório deve ser maior que 0,3m e menor que 4m a fim de evitar o acúmulo de bolhas de ar no sistema. Na figura 7 observa-se as tubulações alocadas no reservatório da instalação do protótipo assim como a sua posição horizontal com cerca de 50cm acima do coletor solar.



**Figura 6.** Representação da bombona na vertical.



**Figura 7.** Representação da bombona na horizontal.

Quando exposto ao Sol, o coletor solar tem a função de aquecer a água em seu interior. A água aquecida possui uma massa específica menor, tornando-se mais leve que a água fria. Assim, a água presente no interior dos coletores se movimenta para o reservatório e, simultaneamente, a água estocada no reservatório flui em direção ao coletor. A água quente na parte superior do reservatório destina-se para a ducha (Figura 8 e 9).



**Figura 8.** Identificação dos elementos do protótipo.



**Figura 9.** Visualização da instalação finalizada.

Para garantir a temperatura adequada da água da ducha foi instalado um misturador. para permitir que a água quente do aquecedor solar e a água fria proveniente da rede da concessionária de água e esgoto sejam utilizadas simultaneamente na ducha, caso necessário (Figura 10).



**Figura 10.** Ducha.

O termômetro infravermelho foi utilizado para aferir as temperaturas ambiente, do coletor solar, do reservatório térmico e da água da ducha. Seu ajuste de emissividade (variação de 0,1 a 1,0) confere maior precisão na medição da temperatura de diversos tipos de superfícies garantindo, assim, maior confiabilidade na comprovação da eficiência do sistema (Figura 11).



**Figura 11.** Termômetro a laser.

## 2.2 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O protótipo foi implantado na cidade de Teófilo Otoni, MG, em uma residência unifamiliar (17.87°S; 41.50°W) habitada por três moradores. Possui boa incidência solar e pouco sombreamento. A instalação foi realizada na cobertura metálica da garagem, à noroeste, com facilidade para acesso a água fria.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 AMOSTRA DE DADOS

Os dados apresentados são amostras de três semanas (27 de maio de 2019 a 16 de junho de 2019). É válido ressaltar que, durante este período, a estação é o outono. À medida que o inverno vai se aproximando, os dias são mais curtos e as noites mais longas. Além disso, o Sol está mais baixo e os raios solares incidem num ângulo mais agudo e se dispersam, reduzindo a temperatura.

Os dados referentes à radiação e à temperatura ambiente foram adquiridos através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), por meio da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (Estação Teófilo Otoni – A527). O portal publica os dados meteorológicos a cada hora. A coleta dessas informações foi feita diariamente nos horários de 8h, 12h, 16h e 20h.

A escolha dos horários foi baseada na disponibilidade dos autores e também nos horários de pico para banho, segundo a cartilha da concessionária local, CEMIG (2015).

As aferições das temperaturas do coletor solar foram realizadas na sua área central: para o boiler, da região intermediária para baixo (onde a água se localiza); para a ducha, na saída de água para o banho (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados coletados na primeira semana

Dias	Horário (h)	Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura coletor (°C)	Temperatura reservatório (°C)	Temperatura água da ducha (°C)
<b>1° Dia (27.05)</b>	8:00h	-1,27	21,0	20,5	22,0	23,0
	12:00h	389,90	22,1	35,2	30,2	30,2
	16:00h	1902,00	26,7	25,1	28,3	30,2
	20:00h	542,50	26,4	21,8	27,1	24,7
<b>2° Dia (28.05)</b>	8:00h	-3,17	21,1	24,1	24,6	24,9
	12:00h	1028,00	23,2	47,4	34,3	31,3
	16:00h	2720,00	28,2	41,5	40,6	33,2
	20:00h	525,60	26,4	19,5	19,7	24,0
<b>3° Dia (29/05)</b>	8:00h	-3,53	18,5	19,0	20,5	19,2
	12:00h	1418,00	23,2	49,8	39,2	34,6
	16:00h	2499,00	29,3	31,5	34,5	34,3
	20:00h	227,80	27,7	21,9	28,9	29,9
<b>4° Dia (30/05)</b>	8:00h	-3,54	18,1	21,6	21,5	20,8
	12:00h	1448,00	22,5	48,7	39,7	34,6
	16:00h	1692,00	26,3	27,7	33,1	32,9
	20:00h	570,00	26,6	21,0	27,0	28,0
<b>5° Dia (31/05)</b>	8:00h	-2,86	20,9	23,5	23,8	22,2
	12:00h	1149,00	23,2	54,8	43,8	35,0
	16:00h	2729,00	29,4	32,2	33,7	32,7
	20:00h	557,90	28,1	21,0	26,9	27,5
<b>6° Dia (01/06)</b>	8:00h	-3,54	17,9	20,5	21,4	21,0
	12:00h	1430,00	23,7	58,4	41,6	36,6
	16:00h	2371,00	30,1	35,5	38,5	36,7
	20:00h	368,50	29,7	22,4	27,8	24,7
<b>7° Dia (02/06)</b>	8:00h	-3,54	17,7	22,9	22,9	23,6
	12:00h	1410,00	23,8	67,3	48,5	38,2
	16:00h	2188,00	28,8	28,5	31,6	32,9
	20:00h	549,10	28,9	20,3	26,5	27,5
<b>Média Final</b>	-	989,07	24,63	31,56	29,99	29,09
<b>Mediana</b>	-	563,95	25,10	24,60	28,60	30,10
<b>Desvio padrão</b>	-	922,05	3,94	13,71	7,83	5,52

Fonte: INMET, 2019.

As temperaturas da água da ducha nos horários de 12h e 16h foram superiores à temperatura ambiente, com variação máxima de 12,1°C (às 12h) e 6,6 °C (às 16h). No horário das 16h, a temperatura ambiente é maior do que às 12h devido à elevação da radiação ( $I_g$ ).

No coletor, as temperaturas atingem os maiores picos devido a área superficial de contato com a radiação solar. Por exemplo, no sétimo dia de análise, a temperatura no

mesmo chegou a 67,3°C (às 12h). Com o declínio do Sol durante a tarde e considerando sombras sobre o coletor, as temperaturas decrescem no mesmo.

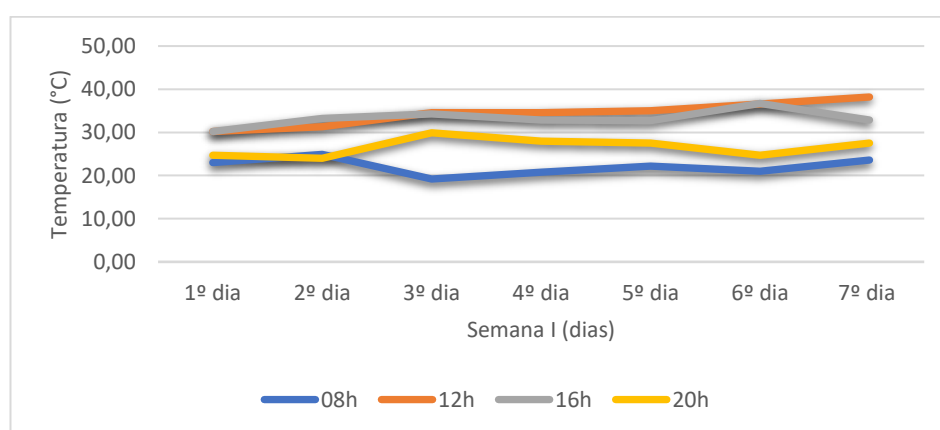
No reservatório, a temperatura máxima atingida foi de 48,5°C (às 12h) e a mínima de 19,7°C (às 20h). É notório que as temperaturas sofrem reduções entre os intervalos de 12h às 16h, exceto no segundo dia das aferições. A amplitude máxima, considerando os dois horários, foi de 10,1°C no quinto dia de medição.

Às 8h e 20h, as temperaturas (em especial, a do reservatório e da ducha) se aproximaram da temperatura ambiente devido a radiação menos intensa nesses horários

**Tabela 2.** Valores diários da temperatura da água da ducha na primeira semana e as médias por horário.

Horário (h)	1º Dia (°C)	2º Dia (°C)	3º Dia (°C)	4º Dia (°C)	5º Dia (°C)	6º Dia (°C)	7º Dia (°C)	Média (°C)	Mediana (°C)	Desvio padrão (°C)
8:00h	23,00	24,90	19,20	20,80	22,20	21,00	23,60	22,10	22,20	1,92
12:00h	30,20	31,30	34,60	34,60	35,00	36,60	38,20	34,46	34,60	2,80
16:00h	30,20	33,20	34,30	32,60	32,70	36,70	32,90	33,27	32,90	1,95
20:00h	24,70	24,00	29,90	28,00	27,50	24,70	27,50	26,62	27,50	2,18

Na primeira semana, é notório que a média das temperaturas às 12h é superior aos outros horários. Entretanto, foi o maior valor alcançado do desvio padrão, mostrando uma maior heterogeneidade entre seus valores. A partir do registro das temperaturas da água da ducha gerou-se o gráfico da figura 12.



**Figura 12.** Gráfico da variação da temperatura da água da ducha ao longo do dia na primeira semana.

Devido à alta radiação, na primeira semana, as maiores temperaturas foram registradas nos horários de 12h e 16h. Mesmo com a queda de temperatura após às 16h, o

reservatório manteve a água aquecida, alcançando máximas de 29,9°C na ducha durante o período noturno (20h) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Dados coletados na segunda semana.

Dias	Horário (h)	Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura coletor (°C)	Temperatura reservatório (°C)	Temperatura água da ducha (°C)
<b>1° Dia</b>	8:00h	-3,54	17,9	20,0	20,2	21,0
<b>(03/06)</b>	12:00h	1424,00	22,7	55,4	39,8	30,7
	16:00h	2686,00	29,1	42,0	39,8	38,0
	20:00h	555,70	27,1	19,9	27,8	28,8
<b>2° Dia</b>	8:00h	-3,54	16,6	16,4	20,8	19,7
<b>(04/06)</b>	12:00h	1321,00	21,7	49,8	39,2	34,6
	16:00h	2346,00	29,4	35,0	39,0	37,0
	20:00h	617,10	27,8	22,2	29,7	30,6
<b>3° Dia</b>	8:00h	-1,72	19,0	18,9	23,2	21,5
<b>(05/06)</b>	12:00h	500,10	19,0	40,0	29,9	30,4
	16:00h	1965,00	23,8	25,1	28,3	30,2
	20:00h	446,30	22,5	16,5	22,8	22,7
<b>4° Dia</b>	8:00h	-3,54	14,2	14,1	18,0	17,1
<b>(06/06)</b>	12:00h	1487,00	19,4	46,0	45,2	32,2
	16:00h	1088,00	23,2	44,9	23,1	28,4
	20:00h	247,60	22,3	19,1	22,5	23,4
<b>5° Dia</b>	8:00h	-3,54	13,8	12,9	16,3	17,6
<b>(07/06)</b>	12:00h	1439,00	19,4	48,7	39,7	34,6
	16:00h	2327,00	24,6	34,0	38,7	35,0
	20:00h	395,40	23,1	18,5	22,4	22,9
<b>6° Dia</b>	8:00h	-1,98	17,6	22,9	21,9	21,1
<b>(08/06)</b>	12:00h	725,60	19,4	26,7	27,3	25,0
	16:00h	1818,00	23,4	30,0	32,7	28,4
	20:00h	520,60	22,9	21,0	31,8	24,6
<b>7° Dia</b>	8:00h	-3,51	15,4	19,8	19,7	19,0
<b>(09/06)</b>	12:00h	1077,00	18,8	36,1	27,5	28,1
	16:00h	1569,00	24,2	27,5	33,7	33,1
	20:00h	264,10	24,2	20,9	24,6	24,9
<b>Média Final</b>	-	885,65	21,52	28,73	28,77	27,16
<b>Mediana</b>	-	586,40	22,40	24,00	27,70	28,30
<b>Desvio padrão</b>	-	825,99	4,17	12,25	8,02	6,05

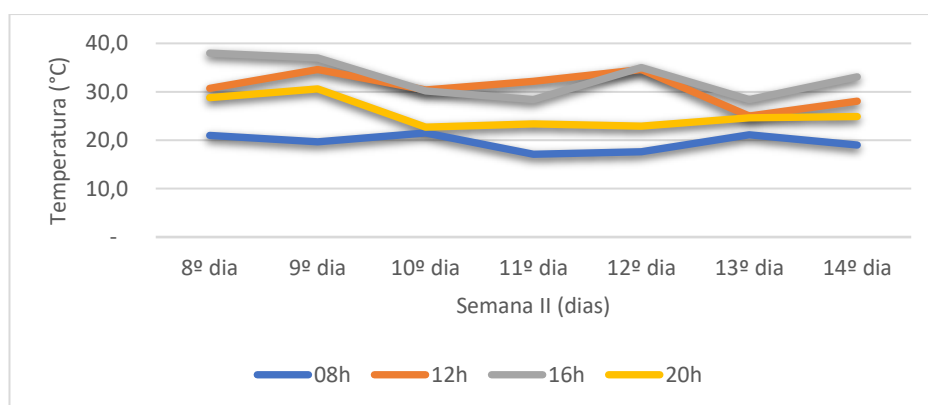
Fonte: INMET, 2019.

Assim como na primeira semana, as temperaturas da água na ducha nos horários de 12h e 16h foram superiores à temperatura ambiente, alcançando a variação máxima de 15,2°C e 10,4 °C, respectivamente. Como também pode ser observado, devido à elevação da radiação ( $I_g$ ), às 16h a temperatura ambiente é maior do que às 12h. No primeiro dia de análise, a temperatura no coletor chegou a 55,4°C às 12h. Considerando o declínio do Sol durante à tarde e sombras sobre o coletor, as temperaturas decrescem no mesmo. No reservatório, a temperatura máxima atingida foi de 39,8°C (às 12h e às 16h) e a mínima de 16,3°C, no quinto dia, às 8h. Observa-se que as temperaturas em geral sofreram uma redução em comparação com a primeira semana. Em relação aos horários de 8h e 20h, as temperaturas do reservatório e da ducha continuaram se aproximando à ambiente, uma vez que a radiação desses horários é baixa (negativa às 8h).

**Tabela 4.** Valores diários da temperatura da água da ducha na segunda semana e as médias de cada horário.

Horário (h)	8° Dia (°C)	9° Dia (°C)	10° Dia (°C)	11° Dia (°C)	12° Dia (°C)	13° Dia (°C)	14° Dia (°C)	Média (°C)	Mediana (°C)	Desvio Padrão (°C)
8:00h	21,00	19,70	21,50	17,10	17,60	21,10	19,00	19,60	19,70	1,75
12:00h	30,70	34,60	30,40	32,20	34,60	25,00	28,10	30,80	30,70	3,46
16:00h	38,00	37,00	30,20	28,40	35,00	28,40	33,10	32,90	33,10	3,98
20:00h	28,80	30,60	22,70	23,40	22,90	24,60	24,90	25,40	24,60	2,45

A média da temperatura da água na ducha às 16h foi superior às outras médias, indicando uma radiação maior em seis dos sete dias da semana, de acordo com a tabela 3. A figura 13 representa o gráfico da variação da temperatura da água na ducha na segunda semana.



**Figura 13.** Gráfico da variação da temperatura da água na ducha ao longo do dia na segunda semana.



Ao analisar as tabelas 3 e 4 e o gráfico da figura 13, percebe-se que as temperaturas obtidas no horário de 16h foram superiores às outras, em sua maioria, devido ao alto índice da radiação na segunda semana. Observa-se uma variação maior na temperatura da água na ducha assim como na temperatura ambiente da segunda semana, alcançando em um mesmo dia uma oscilação de 10,9°C.

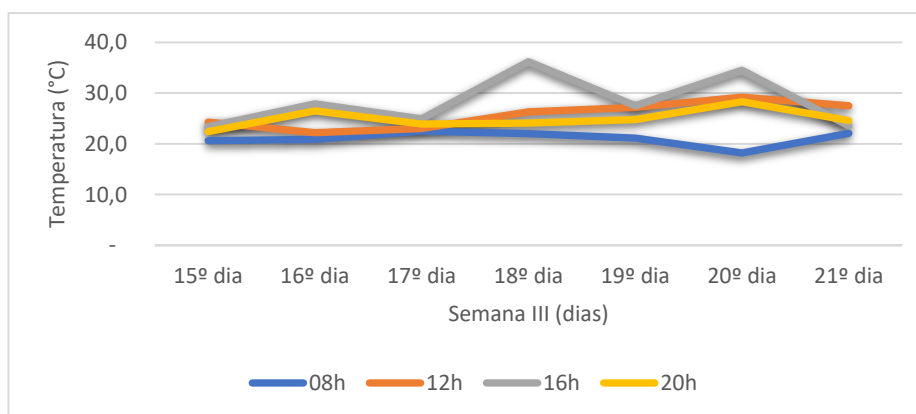
Ao comparar os dados da terceira semana com as semanas anteriores, nota-se uma diminuição nos índices de radiação, temperatura ambiente e temperaturas obtidas através dos dados coletados do aquecedor solar. Essa diminuição é decorrente da aproximação do inverno, caracterizado pelas baixas temperaturas.

Conforme os dados apresentados, as temperaturas da água na ducha às 12h e às 16h mantiveram-se mais altas quando comparadas aos horários na terceira semana.

No sexto dia de análise, a temperatura do coletor alcançou 38,3°C (às 12h). No reservatório, a temperatura máxima atingida foi de 38,9°C (às 16h) e a mínima de 18°C (às 8h). Em relação aos horários de 8h e 20h – visto que a radiação desses horários não é muito intensa - as temperaturas (em especial, as do reservatório e da ducha) se aproximaram da ambiente.

Os valores médios em alguns horários diminuíram em comparação com as semanas anteriores. Como resultado da Tabela 6 foi gerado o gráfico da figura 14.

As tabelas 5 e 6 e o gráfico da figura 14 demonstram que, na terceira semana, a temperatura às 16h continua sendo superior à dos outros horários e a variação das temperaturas foi menor do que nas duas semanas anteriores. A oscilação das temperaturas diminuiu devido à aproximação do inverno, visto que a temperatura ambiente decaiu em comparação com as semanas anteriores.



**Figura 14.** Gráfico da variação da temperatura da água na ducha ao longo do dia na terceira semana.

**Tabela 5.** Dados coletados na terceira semana.

Dias	Horário (h)	Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura coletor (°C)	Temperatura reservatório (°C)	Temperatura água da ducha (°C)
<b>1° Dia</b> <b>(10/06)</b>	8:00h	-2,94	19,20	18,50	21,40	20,60
	12:00h	642,80	19,50	21,80	24,70	24,30
	16:00h	783,30	21,80	21,80	23,40	23,40
	20:00h	167,60	19,70	20,40	22,10	22,40
<b>2° Dia</b> <b>(11/06)</b>	8:00h	-0,47	18,30	19,70	20,40	20,90
	12:00h	730,20	20,30	23,40	21,50	22,20
	16:00h	1207,00	21,70	27,70	26,30	27,90
	20:00h	143,10	22,40	22,60	25,90	26,50
<b>3° Dia</b> <b>(12/06)</b>	8:00h	-0,95	18,40	20,90	22,10	22,50
	12:00h	678,10	20,90	26,30	23,20	23,00
	16:00h	1086,00	21,80	24,20	23,90	24,90
	20:00h	218,70	22,40	20,60	23,80	23,90
<b>4° Dia</b> <b>(13/06)</b>	8:00h	-2,16	18,80	20,40	21,70	22,00
	12:00h	885,60	21,40	27,20	29,10	26,30
	16:00h	2395,00	24,90	34,50	38,90	36,20
	20:00h	286,80	20,40	20,10	23,60	24,10
<b>5° Dia</b> <b>(14/06)</b>	8:00h	-2,88	16,10	20,50	20,30	21,10
	12:00h	925,00	19,70	33,40	27,40	27,20
	16:00h	1096,00	22,00	36,50	28,00	27,50
	20:00h	327,60	20,70	22,30	24,60	24,80
<b>6° Dia</b> <b>(15/06)</b>	8:00h	-2,68	18,30	18,70	18,00	18,20
	12:00h	1381,00	21,60	38,30	28,60	29,20
	16:00h	2965,00	26,20	31,00	33,90	34,50
	20:00h	1246,00	25,00	21,90	27,50	28,30
<b>7° Dia</b> <b>(16/06)</b>	8:00h	-2,54	18,40	20,70	21,90	22,10
	12:00h	920,5	20,70	34,00	28,10	27,50
	16:00h	1024,00	24,00	22,10	24,70	23,50
	20:00h	201,7	21,50	20,30	23,80	24,60
<b>Média Final</b>	-	689,16	20,93	24,64	24,96	29,09
<b>Mediana</b>	-	660,45	20,80	22,00	23,90	24,20
<b>Desvio padrão</b>	-	730,51	2,29	5,85	4,31	3,95

Fonte: INMET, 2019.

**Tabela 6.** Valores diários da temperatura da água na ducha na terceira semana e as médias de cada horário.

Horário (h)	15° Dia (°C)	16° Dia (°C)	17° Dia (°C)	18° Dia (°C)	19° Dia (°C)	20° Dia (°C)	21° Dia (°C)	Média (°C)	Mediana (°C)	Desvio padrão (°C)
8:00h	20,60	20,90	22,50	22,00	21,10	18,20	22,10	21,10	21,10	1,44
12:00h	24,30	22,20	23,00	26,30	27,20	29,20	27,50	25,70	26,30	2,57
16:00h	23,40	27,90	24,90	36,20	27,50	34,50	23,50	28,30	27,50	5,17
20:00h	22,40	26,50	23,90	24,10	24,80	28,30	24,60	24,90	24,60	1,92

### 3.2 CÁLCULO DA CORRELAÇÃO DE *Pearson*

Para comprovar a relação proporcional entre a radiação e a temperatura ambiente, foi realizado o cálculo da correlação de *Pearson* (conforme a Equação 3) utilizando a média das três semanas para a radiação (Tabela 7) e para a temperatura (Tabela 8).

**Tabela 7.** Média da radiação das três semanas.

Horário (h)	1ªSemana (kJ/m <sup>2</sup> )	2ªSemana (kJ/m <sup>2</sup> )	3ªSemana (kJ/m <sup>2</sup> )	Média (kJ/m <sup>2</sup> )
8:00h	-3,06	-3,05	-2,09	-2,73
12:00h	1181,84	1139,10	880,46	1067,13
16:00h	2300,14	1971,29	1508,04	1926,49
20:00h	477,34	435,26	370,21	370,21

Fonte: INMET, 2019.

Os dados referentes a radiação da tabela 7 foram obtidos através das médias semanais das Tabelas 1, 3 e 5. É possível observar a maior radiação entre os horários às 16h.

**Tabela 8.** Média da temperatura ambiente das três semanas.

Horários (h)	1ªSemana (°C)	2ªSemana (°C)	3ªSemana (°C)	Média (°C)
8	22,10	19,60	21,10	20,93
12	34,36	30,80	25,70	30,29
16	33,27	33,90	28,30	31,82
20	26,61	25,40	24,90	25,64

Fonte: INMET, 2019.

As temperaturas da tabela 8 são médias calculadas através dos dados das tabelas 1, 3 e 5. A temperatura ambiente mais alta é às 16h. Logo, a correlação de *Pearson* deseja provar uma relação entre a radiação e a temperatura ambiente.

O resultado obtido foi de 0,94, muito próximo de 1, comprovando a relação de dependência da temperatura ambiente da água em função da radiação solar. Ou seja, quando a radiação aumenta, a temperatura também aumenta, conforme as tabelas 1, 3 e 5.

### 3.3 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA

Para desenvolver os cálculos é preciso encontrar inicialmente o coeficiente global de transmissão térmica (K). Foram realizados dois cálculos para o valor de K, onde o primeiro determina o fluxo ascendente e o segundo o fluxo descendente. A espessura da placa de PVC é de 10mm e a condutividade térmica é definido por Lamberts (2019) como 0,20 W/m°C. A tabela 9, a seguir, apresenta os valores obtidos para o K.

**Tabela 9.** Coeficiente global da transmissão térmica, K.

$K_{ascendente}$	<b>5,26 (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
$K_{descendente}$	3,70(W/m <sup>2</sup> °C)

Ao obter os valores de K para fluxos ascendentes e descendentes, calculou-se a intensidade do fluxo térmico (*q*). Foram considerados os horários de 12h, 16h e 20h para os cálculos da intensidade do fluxo térmico (*q*). Os dois primeiros horários apresentam a maior radiação do dia. O último foi considerado para verificar o quanto o sistema conservou o calor, pois às 20h é um horário de pico de banho, conforme reportado anteriormente (Tabelas 10 e 11).

**Tabela 10.** Valores da intensidade do fluxo térmico ascendente.

Horário (h)	Fluxo ascendente (W/m <sup>2</sup> )
12:00h	146,86
16:00h	426,02
20:00h	108,14

**Tabela 11.** Valores da intensidade do fluxo térmico descendente.

Horário (h)	Fluxo descendente (W/m <sup>2</sup> )
12:00h	103,31
16:00h	299,67
20:00h	76,07

Após os resultados encontrados, é possível calcular a eficiência térmica instantânea ( $\eta$ ). Conforme Peneiro (2016), a eficiência térmica instantânea ( $\eta$ ) será obtida através da Equação 4.

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_RK_L \left( \frac{T_{exp} - T_{amb}}{A_C \times I_C} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$\eta$ : eficiência térmica instantânea (%)

$F_R$ : fator de remoção de calor ( $\frac{W}{m^2}$ );

$\tau$ : transmitância ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ );

$\alpha$ : coeficiente de absorção de radiação solar;

$K_L$ : fator global de transferência de calor ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ );

$T_{exp}$ : temperatura experimental do coletor ( $^\circ C$ );

$T_{amb}$ : temperatura ambiente ( $^\circ C$ );

$A_C$ : área do coletor ( $m^2$ );

$I_C$ : índice de radiação solar no coletor ( $^\circ C$ ).

Os cálculos da eficiência foram realizados para os horários de 12h, 16h e 20h, devido à alta incidência solar nos dois primeiros horários e à necessidade de medir a conservação da temperatura da água na ducha no último horário (Tabelas 12 e 13).

**Tabela 12.** Eficiência térmica instantânea ascendente.

Horários (h)	Eficiências ascendentes ( $\eta$ )
12:00h	0,43%
16:00h	1,31%
20:00h	0,32%

**Tabela 13.** Eficiência térmica instantânea descendente.

Horários (h)	Eficiências descendentes ( $\eta$ )
12:00h	0,44%
16:00h	1,32%
20:00h	0,32%

Nota-se uma aproximação dos valores entre as tabelas 12 e 13, demonstrando que o calor liberado é muito próximo do calor absorvido. Logo, o calor liberado está em equilíbrio com o calor absorvido. A eficiência das 16h obteve um resultado maior devido a sua relação com a radiação uma vez que a mesma possuía maiores valores ao longo das três semanas estudadas.

Para uma melhor acareação, segue abaixo a tabela 14 com amostras de eficiência do sistema de aquecimento solar comercial (coletores de cobre e reservatório em aço inox) dos fornecedores registrados pelo INMETRO (2018).

Tabela 14. Amostra da eficiência térmica de duas empresas.

Empresa	Marca	Modelo	Aplicação	Eficiência (%)
A	B	Hiperquente 2.0 Vertical	Banho	0,647
A	B	Hiperquente 1.6 vertical	Banho	0,647
A	B	Hiperquente 1x1 Vertical	Banho	0,647
C	D	GS-2,00x1,00 V	Banho	0,638
C	D	GS-2,00x1,00 H	Banho	0,638
C	D	GS-1,70x1,00 V	Banho	0,638

Fonte: INMETRO, 2019.

Os valores obtidos nas eficiências térmicas instantâneas foram satisfatórios uma vez que os fornecidos pelo INMETRO (2019) variam de 0,638 a 0,647% e os obtidos foram de 0,44% às 12h, 1,32% às 16h e 0,32% às 20h.

#### 4. CONCLUSÃO

Em atendimento aos objetivos traçados inicialmente, o coletor solar de baixo custo mostrou-se eficiente em relação ao fluxo térmico transferido para a água. Essa conclusão é fundamentada pelos dados coletados e expostos ao longo deste trabalho. A temperatura da água na ducha mostrou-se satisfatória entre 12h e 16h, sendo ideal para um banho morno (entre 29°C e 38°C). Em dias de temperaturas ambientes mais altas, foi possível alcançar temperaturas para banhos quentes (acima de 39°C) no intervalo de tempo citado. No período noturno, a temperatura da água raramente atingiu temperaturas mornas, demonstrando que o reservatório não foi um bom isolante térmico. O mesmo observou-se para o período matutino.

Contudo, considerando o período de coleta dos dados – outono, caracterizado por temperaturas mais amenas – os resultados obtidos foram satisfatórios em eficiência para o protótipo, obtendo 0,44% às 12h. As temperaturas médias obtidas nesse horário foram 41,4°C no coletor solar, 33,7°C no reservatório térmico, 21,3°C para a temperatura ambiente e 30,3°C para a água na ducha. Às 16h, a eficiência do sistema foi elevada para 1,32% devido ao aumento da radiação solar, alcançando temperatura média de 31,4°C no coletor, de 32,2°C no reservatório, de 25,7°C para a temperatura ambiente e de 32,0°C para a água na ducha. Ao anoitecer, a temperatura média do coletor se manteve em 20,7°C, do reservatório em 25,6°C e a temperatura ambiente em 24,6 °C, alcançando uma temperatura média da ducha de 25,6°C e eficiência da instalação de 0,32%.

Notou-se que a maior eficiência foi às 16h. Esse fator pode ser explicado através da

correlação de *Pearson*, que compara a radiação e a temperatura ambiente. O valor de  $r = 0,94$  demonstra que a radiação influencia na eficiência.

Através das temperaturas observadas ao longo da realização da pesquisa, constatou-se que, em alguns dias, a temperatura da água na ducha mostrou-se superior à temperatura da bombona, principalmente no período noturno. Isso se deu ao fato de que o termômetro a laser utilizado na aferição da temperatura consegue captar apenas a temperatura da área de contato com o laser (área externa da bombona) e não da água no seu interior. Assim, as temperaturas obtidas do reservatório demonstraram uma diferença significativa em relação à água na saída da ducha.

## 5. REFERÊNCIAS

ABESCO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Desperdício de energia atinge R\$ 61,7bi em três anos.** São Paulo: ABESCO, 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>>. Acesso em: 20/12/2018.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Eólica do Brasil.** 1ª ed. Brasília: Aneel, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569: 2008. sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalação.** Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: 1998. Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198: 1998. Projeto e execução de instalações de instalações prediais de água quente - procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. **Governo Federal.** Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2015/07/moradias-sao-equipadas-com-aquecimento-solar>>. Acesso em: 14/07/2019.

CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Cartilha da economia de energia 75 dicas.** 2015. Disponível em: <[https://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/sustentabilidade/nossos\\_programas/Eficiencia\\_Energetica/Documents/CD-0028-15%20DICAS%20DE%20ENERGIA\\_CARTILHA%2015x21cm%2009-03\\_LOS\\_marca%20nova.pdf](https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/CD-0028-15%20DICAS%20DE%20ENERGIA_CARTILHA%2015x21cm%2009-03_LOS_marca%20nova.pdf)>. Acesso em: 13/07/2019.

CERCO MILITAR. **Algema descartável simples – preto.** Disponível em <<https://www.cercomilitar.com.br/algema-descartavel-simples-preto>>. Acesso em: 15/07/2019.

COSTA, A. S. V. Evolução da renda nas cidades de Carai e Teófilo Otoni, localizadas no Nordeste de Minas Gerais, nos anos de 2000 e 2010. **Revista Cesumar Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 20, n. 2, p. 405-423, 2015.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6° Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 Ano Base 2016**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 12/12/2018.

IEA. INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. França: IEA, 2018. Disponível em: <[https://webstore.iea.org/download/direct/2291?fileName=Key\\_World\\_2018.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2291?fileName=Key_World_2018.pdf)>. Acesso em: 18/12/2018.

INME. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Temperatura média anual**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>>. Acesso em: 17/05/2019.

INME. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Tempo e clima**. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo\\_clima](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo_clima)>. Acesso em: 17/05/2019.

INMETRO. **PBE- Coletor Solar aplicação Banho e Piscina**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>>. Acesso em: 03/07/2019.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. Disponível em <<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf>>. Acesso em: 03/07/2019.

LORANDI, P. D. **Determinação da influência dos parâmetros de extrusão na reologia de resinas PEAD**. (TCC) Graduação em engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

PAGANIN, R.; et al. Projeto conceitual de uma residência unifamiliar utilizando técnicas de energias renováveis. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 9, n. 4, p. 6, 2019.

PENEIRO, J. C. Medidas das eficiências térmicas em aquecedores solares: uma alternativa complementar para o ensino de conceitos de física para estudantes das engenharias. **R bras Ens Ci Technol**, v. 9, n. 1, p. 99-122, 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TEÓFILO OTONI. **Lei n. 5806, de 09 de abr. de 2008**. Disponível em: <<http://www.teofilootoni.mg.gov.br/leis-municipais/>>. Acesso em: 01/12/2018.

SEMPRE SUSTENTÁVEL. **Aquecedor solar de água feito com tubos de PVC: próprios para água potável e resistentes as intempéries**. v. 1.2. 2012. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/solar/aquecedor/aquecedor-solar.htm>> Acesso em 18/12/2018.

SOCIEDADE DO SOL, **Manual de Instrução de Manufatura e Instalação Experimental do Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC)**: Manual do Usuário. Versão 3.0, 2009.