

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM TRÊS PASSOS
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO AMBIENTAL**

JEFERSON TOSIN

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PAINEL ALTERNATIVO DE
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COMPARADO A PAINEL COMERCIAL**

**TRÊS PASSOS
2021**

JEFERSON TOSIN

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PAINEL ALTERNATIVO DE
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COMPARADO A PAINEL COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Gestão
Ambiental na Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ramiro Pereira Bisognin

TRÊS PASSOS

2021

Catálogo de Publicação na Fonte

T714c Tosin, Jeferson.

Construção e análise do desempenho de painel alternativo de aquecimento solar de água comparado a painel comercial. / Jeferson Tosin. – Três Passos, 2021.

22 f.

Orientador: Prof. Dr. Ramiro Pereira Bisognin.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental, Unidade em Três Passos, 2021.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Carina Lima CRB10/1905

JEFERSON TOSIN

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PAINEL ALTERNATIVO DE
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COMPARADO A PAINEL COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Gestão
Ambiental na Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ramiro Pereira Bisognin

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Ramiro Pereira Bisognin

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Márlon de Castro Vasconcelos

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Robson Evaldo Gehlen Bohrer

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

RESUMO

O aumento da preocupação com as questões ambientais, relacionado com a qualidade de vida das pessoas, tem incentivado a realização estudos alternativos para fontes de energias limpas. A principal fonte de energia disponível no planeta é o sol, podendo ser utilizado para geração de energia de muitas atividades produtivas e cotidianas, ou mesmo para o aquecimento da água. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo construir um painel de aquecimento solar de água com materiais recicláveis e de baixo custo e comparar sua eficiência com um painel comercial convencional. O estudo foi realizado no município de Santa Rosa/RS, e teve início em uma pesquisa de diferentes modelos de painéis solares para aquecimento da água de baixo custo. Optou-se pela construção de um painel com a utilização de mangueiras pretas, garrafas PET e caixas Tetra Pak. Após construído, os custos do painel alternativo foi comparado a de um painel convencional à vácuo com 20 tubos. O painel construído foi instalado próximo ao convencional para que pudesse ser realizada a comparação de eficiência dos dois sistemas, cujas leituras de temperatura ocorreram de 23 de agosto a 12 de novembro de 2021, às 10, 12, 14 e 16h. Como resultados, verificou-se que o modelo construído possuía baixa capacidade volumétrica, apenas 7 litros, com um custo de produção de R\$ 355,25, enquanto que o painel convencional possuía capacidade de armazenar 60 litros a um custo de R\$ 3.500,00. Portanto, o painel construído para que tivesse a mesma capacidade volumétrica do convencional deveria ser ampliado 8,57 vezes, o que representaria um custo proporcional de R\$ 3.045,00, deixando de ser um sistema de baixo custo. Quanto a eficiência, foram realizadas leituras de entrada e saída de água de ambos os sistemas. A temperatura média de entrada de água no sistema foi de 22,92 °C, durante todo o período analisado. A maior temperatura da saída de água do sistema alternativo foi de 60 °C, enquanto que no convencional foi de 91,6 °C, observando-se uma diferença de 31,6 °C. O sistema convencional apresentou maior uniformidade na elevação da temperatura ao longo do dia, enquanto que o painel construído possibilitou o registro das maiores temperaturas às 14h, evidenciando menor aproveitamento da irradiação solar. Desta forma, o painel construído não apresentou vantagens em relação ao modelo convencional, do ponto de vista financeiro e de eficiência.

Palavras-chave: Sol, custos, eficiência energética, reutilização de resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

The growing concern with environmental issues, related to people's quality of life, has encouraged the realization of alternative studies for clean energy sources. The main source of energy available on the planet is the sun, which can be used to generate energy for many productive and daily activities, or even to heat water. In this sense, the present study aimed to build a solar water heating panel with recyclable and low-cost materials and compare its efficiency with a conventional commercial panel. The study was carried out in the city of Santa Rosa/RS, and began with a survey of different models of solar panels for low-cost water heating. It was decided to build a panel using black hoses, PET bottles and Tetra Pak boxes. Once built, the cost of the alternative panel was compared to a conventional vacuum panel with 20 tubes. The panel built was installed close to the conventional one so that the efficiency of the two systems could be compared, whose temperature readings took place from August 23 to November 12, 2021, at 10, 12, 14 and 4 pm. As a result, it was found that the model built had a low volumetric capacity, only 7 liters, with a production cost of BRL 355.25, while the conventional panel had the capacity to store 60 liters at a cost of BRL 3,500, 00. Therefore, the panel built to have the same volumetric capacity as the conventional one should be enlarged 8.57 times, which would represent a proportional cost of R\$3,045.00, no longer being a low-cost system. Therefore, the panel built to have the same volumetric capacity as the conventional one should be enlarged 8.57 times, which would represent a proportional cost of R\$3,045.00, no longer being a low-cost system. As for efficiency, water inlet and outlet readings were taken from both systems. The average temperature of water inlet in the system was 22.92 °C between the analyzed period. The highest water outlet temperature in the alternative system was 60 °C, while in the conventional one it was 91.6 °C, with a difference of 31.6 °C. The conventional system showed greater uniformity in the rise in temperature throughout the day, while the constructed panel made it possible to record the highest temperatures at 2 pm, showing less use of solar irradiation. Thus, the panel built did not present advantages over the conventional model, from a financial and efficiency point of view.

keywords: Sun, costs, energy efficiency, reuse of urban solid waste.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 METODOLOGIA	10
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS.....	10
3.2 MONTAGEM E CONSTRUÇÃO DO PAINEL ALTERNATIVO DE AQUECIMENTO SOLAR.....	11
3.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MONTAGEM E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE AQUECIMENTO SOLAR	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 CONSTRUÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS DE MONTAGEM DO PAINEL DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COM MATERIAIS RECICLÁVEIS E/OU DE BAIXO CUSTO	14
4.2 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAINEL CONSTRUÍDO COM UM PAINEL COMERCIAL CONVENCIONAL.....	16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

O sol é a principal fonte energética disponível ao planeta Terra, que permite a existência de todos os tipos de vida, fornecendo luz, calor e energia (NARDO, 2018). Com o atual modelo de vida da sociedade, observa-se alta demanda energética em diferentes atividades cotidianas, e para suprir essa demanda, a utilização da energia solar tem aumentando nos últimos anos, por tratar-se de uma fonte abundante e de baixo impacto ambiental associado, quando comparado às demais (PEREIRA, 2018).

Neste contexto, o Brasil é um país favorecido pela irradiação solar, conforme dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a irradiação solar no Plano Inclinado na região nordeste do Brasil é de 5,52 KWh/m².dia, enquanto que na região sul do país a irradiação é de 4,77 KWh/m. Ainda em comparação com os outros países, o Brasil ocupa 16º lugar no ranking de potencial energético solar, conforme resultado divulgado pela Agência Internacional de Recursos Renováveis (IRENA) referente ao ano de 2019, com potência acumulada de 4.533 MW (CANAL ENERGIA, 2020), cuja energia pode ser amplamente aproveitada com as novas tecnologias, tanto para geração elétrica como para o aquecimento de água (NETO, 2017?). Esses avanços tecnológicos e estudos estendem-se para diversas aplicações, não apenas gerando economia energética, mas também atuando como ganho ambiental, social e econômico (RODRIGUES, 2010).

Os sistemas de aquecimento solar de água são mais utilizados em residências, principalmente para banhos e aquecimento de piscinas, sendo aplicado tanto para uso unifamiliar ou multifamiliar, como também em hotéis, pousadas e indústrias, bem como no meio rural. (RODRIGUES, 2010). A utilidade desses sistemas no campo é evidenciada, principalmente, nas salas de ordenhas para a assepsia de equipamentos e animais, de modo eficaz e econômico (NASCIMENTO, 2013).

Em suma, o sistema de aquecimento solar de água tem seu funcionamento composto pelas seguintes etapas: captação de energia do sol; transferência de energia para a água; armazenamento da energia térmica e distribuição da água quente. Nas etapas de captação da irradiação solar, transferência de energia e acúmulo da água, os coletores (painel) e reservatório operam simultaneamente e no momento da distribuição é utilizado o sistema hidráulico, que pode ser instalado especificamente para água quente ou pode utilizar as instalações já existentes, desde que suportem as temperaturas mais elevadas (RODRIGUES, 2010).

Os painéis coletores têm a função de captar e distribuir o calor proveniente da irradiação do sol, aquecendo a água armazenada nos tubos do coletor. O aquecimento da água depende de alguns fatores como: condições climáticas e características geográficas do local, como latitude que interfere no ângulo de irradiação, assim como tempo em que o sistema está sob a irradiação solar, sua inclinação e refletividade do solo. É considerado sistema de aquecimento solar quando apenas a água é aquecida pelo sol, sem nenhum outro sistema interferindo nesse processo (BUCHOOLS, 2018).

Além das placas coletoras, os sistemas convencionais de aquecimento solar de água possuem um reservatório denominado de boiler, que armazena a água quente, reduzindo as transferências de calor para o meio externo. Normalmente, são fabricados em aço inoxidável, e possuem isolamento térmico com poliuretano sem CFC (Clorofluorcarbono), o que mantém a água em altas temperaturas ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), mesmo à noite. Os sistemas, geralmente, são abastecidos pelo reservatório de água fria existente nas construções, e assim que a água fria é alimentada no boiler, esta é direcionada para as placas coletoras, onde fica exposta a irradiação solar. Esse processo é chamado de termofissão, no qual a água fria, mais densa, desce para as placas coletoras e força a água quente, menos densa, para a parte superior do boiler, provocando a circulação (MARQUES *et al.*, 2014). A vantagem dessa operação é que ela é natural e não envolve consumo de energia elétrica em bombas, sendo considerada de baixa manutenção, pois requer apenas a limpeza eventual das placas coletoras para manter a eficiência de aquecimento (BASSO *et al.*, 2010).

Apesar dos benefícios dos aquecedores solar de água, um dos fatores que contribui para a baixa utilização residencial é o seu elevado valor de aquisição, a exemplo de um painel a vácuo de 20 tubos, o valor médio é de R\$3.500,00 podendo chegar a R\$4.800,00 com painel mais boiler acoplado, mais frete (PATROSOL, 2021), ou seja, tais valores restringem o acesso às famílias de menor renda. Diante desse empecilho, surge a necessidade da adoção de alternativas, como a construção de sistemas com materiais de baixo custo, para difusão da técnica às pessoas interessadas. Nesse sentido, Silva de Assis *et al.* (2019) informam que é possível a obtenção de sistemas eficientes, mesmo com o emprego de materiais de menor custo e até reaproveitados, contribuindo com o meio ambiente por meio da reutilização de materiais que seriam destinados para aterros sanitários ou descartados de forma irregular, além de reduzir a demanda de recursos naturais necessários a produção da matéria-prima utilizada nos sistemas de aquecimento.

A possibilidade de reaproveitar, na produção de painéis solares, materiais que seriam descartados no meio ambiente ganha relevância ao se considerar os dados do panorama dos

resíduos sólidos urbanos (RSU), realizados pela associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana (ABRELPE). Em 2019, foram geradas 79.069.58 toneladas de RSU no Brasil, dos quais 92% foram coletados, sendo 59,5% destinados para aterros sanitários e 40,5% despejados em locais inadequados, como lixões e aterros controlados que não possuem medidas adequadas para evitar e minimizar danos ambientais e a saúde (ABRELPE, 2019).

Ante o exposto, este estudo se justifica pela possibilidade de utilização da radiação solar para o aquecimento da água, que pode ser empregada para diversos fins, e pelo elevado custo dos sistemas industrializados, ao mesmo tempo em que há necessidade de se buscar maior aproveitamento dos materiais utilizados pelo ser humano.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Construir um painel de aquecimento solar de água com materiais recicláveis e de baixo custo e comparar sua eficiência com um painel comercial convencional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Montar um painel de aquecimento solar de água com materiais recicláveis e/ou de baixo custo.

Quantificar os custos de montagem e implantação do painel.

Comparar o desempenho do painel construído com um painel comercial convencional.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

O sistema alternativo de aquecimento solar da água foi implantado em uma residência no município de Santa Rosa - RS, localizado na região noroeste do Rio Grande do Sul, sob latitude 27°52'15" S e longitude 54°28'53" O, e altitude de 277 metros (IBGE, 2019). Essa residência foi selecionada por já ter instalado um sistema de aquecimento de água solar comercial convencional, para reduzir o consumo de energia, bem como os valores pagos à concessionária de distribuição de energia elétrica na Região.

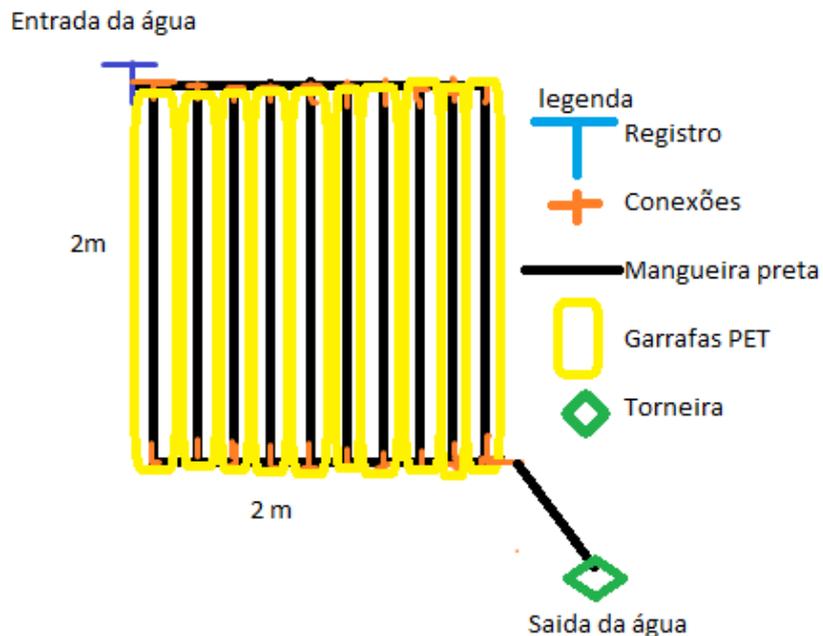
O clima local caracteriza-se como temperado úmido, subtropical, de verão quente e temperatura média de 20,4 °C. Durante o ano, as estações anuais são bem definidas, com temperatura média no verão de 25,3°C no mês de janeiro e de 15,5°C no inverno em julho, e precipitações médias anuais de aproximadamente 1839 mm (CLIMATE-DATA.ORG). As diferenças nas médias de temperatura se devem a irradiação solar que oscila conforme a época do ano. A média anual no município de Santa Rosa/RS corresponde a 4,00 kWh/m².dia (ATLAS SOLAR RIO GRANDE DO SUL, 2017).

3.2 MONTAGEM E CONSTRUÇÃO DO PAINEL ALTERNATIVO DE AQUECIMENTO SOLAR

O painel de aquecimento solar foi construído com 20 tubos coletores. Os coletores receberão a radiação solar e por convecção transferirão o calor para a água que circulará no seu interior. Esta circulação ocorrerá devido a diferença de densidade da água, uma vez que a água fria é mais densa que a quente, permitindo a circulação de água no sistema.

O painel de aquecimento solar foi construído (Figura 1) com a proposta de usar materiais alternativos, recicláveis, montado com mangueiras pretas semi-flexíveis de 20 mm, unidas por conexões “T” e curvas nas extremidades. Nas mangueiras são encaixadas garrafas PET (Polietileno Tereftalato) transparentes de dois litros, sobrepostas umas às outras, as que foram preenchidas com embalagens Tetra Pak (caixas de leite) pintadas de preto fosco.

Figura 1 - Esquema de montagem da placa coletora de irradiação construída com materiais alternativos



No sistema utilizando garrafas PET a água circula nos tubos que estão dentro das garrafas. Este painel de aquecimento foi construído considerando as recomendações de Thomaz (2014?), o qual indica a utilização de garrafas PET de dois litros, transparentes e do mesmo modelo e/ou perfil.

As mangueiras possuem 1,90 m de comprimento, nas quais encaixou-se 10 garrafas PET uma sob a outra, preenchidas com caixas Tetra Pak, unidas pelas conexões T, com distanciamento de 10 cm. Circula dentro do sistema 310 ml de água em cada mangueira, totalizando aproximadamente 7 litros de água, em uma área de 4 m², conforme a estrutura montada. Por sua vez, o modelo comercial, utilizado para fins de comparação, possui 20 tubos de vidros a vácuo, com volume de 3 litros cada, totalizando 60 litros e área de painel de 2,6 m² (ECOLOGIC, 2021).

O painel solar alternativo foi montado em uma estrutura de ferro e instalado no telhado, em local de fácil manuseio, para possíveis ajustes e manutenção, próximo do modelo comercial e com o mesmo ângulo de inclinação.

A seguir são apresentadas as etapas de construção do painel, que contou com a utilização de trena, estilete, gabarito de ferro e cano de PVC, tesoura, lápis e serra.

Inicialmente foram retirados todos os rótulos das garrafas PET, e recortados os fundos utilizando um gabarito com cano de PVC 100 ml, a fim de mantê-las do mesmo tamanho.

Após realizou-se a limpeza das garrafas em um tanque com água e sabão, para posterior secagem ao sol.

Na sequência foram cortadas as partes superior e inferior das embalagens Tetra Pak, seguindo o mesmo procedimento de limpeza das garrafas PET.

O terceiro passo foi a construção de um gabarito com forro de PVC, de acordo com o corte necessário para encaixar as embalagens Tetra Pak dentro dos litros e posterior pintura de preto fosco. Em seguida, foram cortadas as mangueiras conforme o tamanho desejado para realizar os encaixes em “T”. Por fim, foram encaixadas e coladas as garrafas PET nos módulos construídos.

3.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MONTAGEM E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE AQUECIMENTO SOLAR

Os custos de montagem do sistema foram mensurados basicamente após a compra de materiais necessários à construção desse modelo de aquecedor.

As embalagens Tetra Pak e as garrafas Pet foram usadas a partir do consumo diário de produtos que utilizam esses recipientes, sendo estes, reciclados, e os demais materiais como mangueira, conexões, tinta e o registro foram comprados no comércio local.

3.5 ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS ALTERNATIVO E COMERCIAL DE AQUECIMENTO SOLAR

Para realizar a comparação de eficiência entre os sistemas comercial e alternativo, mediu-se a temperatura (°C) da água em ambos os equipamentos com termômetro de coluna de mercúrio na escala de -10 a 110 °C. Considerou-se as temperaturas do ambiente, da água na entrada e saída dos painéis solares, sendo à entrada da água um ponto em comum entre os sistemas. Para a medição da temperatura ambiente utilizou-se termo-higrômetro digital com sensor externo AK28 new. As leituras das temperaturas foram realizadas do dia 23 de agosto a 12 de novembro de 2021, nas segundas, quartas e sextas-feiras, em quatro horários, 10, 12, 14 e 16 h, sendo que, o enchimento do modelo alternativo com água ocorria 2h antes da primeira leitura de temperatura, ou seja, às 8h, e a cada intervalo de coleta era retirada toda água e enchido novamente até a última coleta, às 16h, desta forma o sistema tinha capacidade de aquecer 28 litros de água ao dia. No sistema convencional, foi programado uma entrada de água para o enchimento às 6h, totalizando 60 litros de água ao dia, ou seja, 3 litros em cada

um dos 20 tubos do sistema. Os valores foram coletados em diferentes condições climáticas a fim de verificar o potencial de eficiência de ambos os sistemas em condições adversas.

Após compilação das médias de temperaturas, estas foram analisadas estatisticamente por ANOVA de duas vias de medidas repetidas. O valor de $p \leq 0,05$ foi considerado estatisticamente significativo para análise dos resultados, utilizando-se os procedimentos disponíveis no pacote estatístico R, software v.3.5.1. (R CORE TEAM, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSTRUÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS DE MONTAGEM DO PAINEL DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COM MATERIAIS RECICLÁVEIS E/OU DE BAIXO CUSTO

A Tabela 1 apresenta a relação de materiais, quantidades, valor unitário e total gasto para montagem do painel solar alternativo.

Tabela 1 – Relação e custos dos materiais utilizados na construção do painel alternativo de aquecimento solar de água

Material	Quantidade	Valor unitário R\$	Valor total R\$
Garrafas PET	200 unidades	0,00	0,00
Embalagens Tetra Pak (caixas de leite)	100 unidades	0,00	0,00
Mangueira preta 20 mm	42 metros	1,73	72,66
Conexões “T”	38 unidades	1,56	59,28
Conexões em joelho	2 unidades	1,03	2,06
Tinta preto fosco 1000 ml	1 lata	30	30,00
Registro	1 unidade	14,13	14,13
Adaptador c/rosca interna	1 unidade	1,36	1,36
Fita veda rosca	1 unidade	2,73	2,73
Cola aquatherm 75 g	1 unidade	40,31	40,31
Brascola Ades contato	3 unidades	6,74	20,22
Cinta preta para amarração	100 unidades	0,40	40,00
Pincel	1 unidade	8,50	8,50
Fita larga	2 unidades	7,00	14,00
Quadro de ferro 2 m x 2m	1 unidade	50,00	50,00
		Total	355,25

Observa-se, a partir da Tabela 1, que o valor do painel construído (R\$ 355,25) é praticamente 10 vezes menor que o valor médio do painel comercial (R\$ 3.500,00) (PATROSOL, 2021). No entanto, cabe destacar que o painel construído possui menor capacidade de armazenamento de água para aquecimento, ou seja, apenas 7 litros comparado ao comercial que possui 60 litros. Essa diferença influencia diretamente a comparação de custos dos painéis, pois o modelo testado tem apenas 11,6% da capacidade do comercial. Desta forma, para equivaler às capacidades de armazenamento de água de ambos os painéis seria necessário ampliar em 8,57 vezes o tamanho do painel construído, o que representaria um custo proporcional de R\$ 3045,00.

Em virtude da concepção do sistema com mangueiras de 20 mm observou-se uma limitação volumétrica do painel construído, sendo necessárias dimensões inviáveis para se equivaler à capacidade do sistema comercial. Logo, para estudos futuros recomenda-se a definição de outros modelos de painéis alternativos que possam armazenar maior volume em menor área útil.

A fim de minimizar a diferença de volume de armazenamento entre os dois painéis, optou-se por comparar o volume de água aquecida ao longo de um dia, sendo realizados quatro enchimentos no sistema construído, ou seja, 28 litros por dia e apenas um enchimento no painel comercial, cuja capacidade é de 60 litros.

Os coletores solares podem variar conforme o modelo e materiais utilizados. Rodrigues (2019) descreve a possibilidade de montar um coletor com materiais reciclados de garrafas PET e caixas de leite (tetra Pak) contendo 50 litros de água no valor R\$ 167,30. Porém, esse sistema foi construído com objetivo de comparação com um forno para cozimento de alimentos, utilizando apenas 35 garrafas PET e contendo uma área muito menor que o modelo proposto e testado no presente estudo. Outro modelo realizado pela Sociedade do Sol (2009) possuindo reservatório térmico e coletor solar, com material de forro alveolar (forrinho PVC ou divisórias PVC), tinha capacidade de aquecer 150 a 200 litros de água diariamente, a temperaturas de 45 a 55 °C, com valor estimado de R\$ 80,00 a R\$ 100,00.

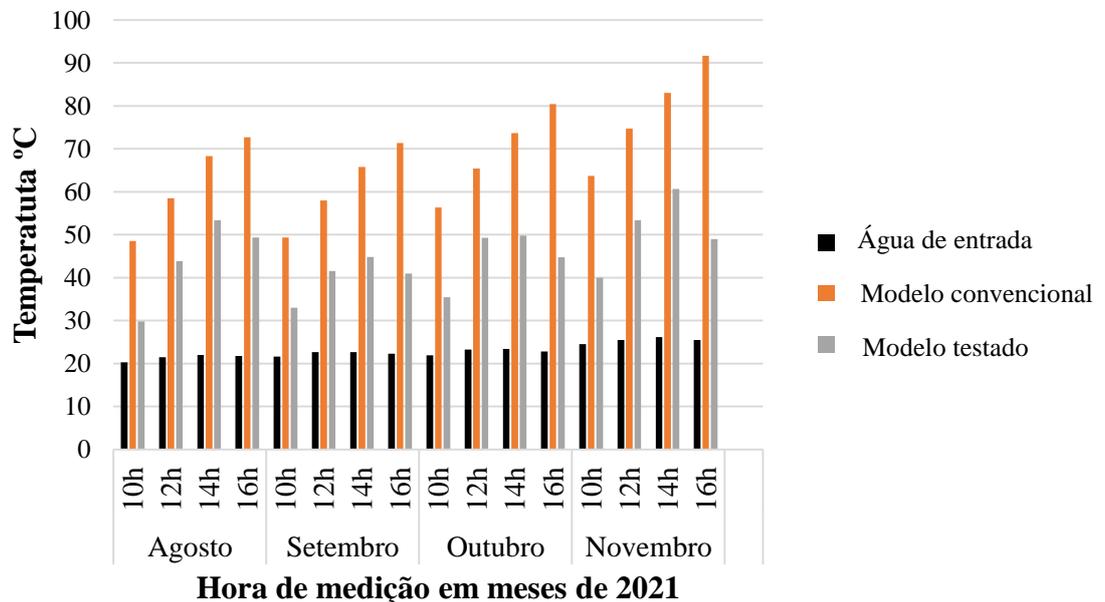
Alguns dos fatores que podem explicar a diferença nos custos entre o modelo testado e o citado pela Sociedade do Sol, é que no modelo testado está incluído o valor com a estrutura de ferro (R\$ 50,00), e as conexões para as mangueiras semi-flexíveis que elevam o valor, em comparação com os modelos de canos de PVC. Também contribui para a diferença de valor, os demais materiais utilizados como colas para melhor fixar as garrafas PET, materiais de pintura e fitas para amarração na estrutura.

Conforme Pereira (2012), com informações atualizadas em maio de 2015, para o engenheiro Hans Rauschmayer, o sistema mais econômico pode ser construído com R\$ 350,00 com capacidade de aquecer 200 litros de água por dia e com uma redução na conta energética de 30 à 40%. A Sociedade do Sol (2009), possui um manual para fabricação de aquecedores solar de baixo custo de 250 litros para famílias entre 5 e 6 pessoas, com 3 placas coletoras, com valor de R\$ 250,00, e com armazenamento da água.

4.2 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAINEL CONSTRUÍDO COM UM PAINEL COMERCIAL CONVENCIONAL

A Figura 2 apresenta as temperaturas médias de entrada de água a cada mês, bem como as temperaturas médias alcançadas pelo painel convencional e o modelo testado.

Figura 2 – Temperaturas médias de entrada da água e os valores registrados durante o monitoramento das águas de saída dos painéis de aquecimento, de agosto a novembro de 2021, Santa Rosa – RS



Conforme apresentado na Figura 2, é possível verificar que o valor médio de temperatura da água na entrada de ambos os painéis, independente do horário, foi de aproximadamente 21 °C no mês de agosto, chegando às 10h da manhã a 48 °C no sistema convencional e 30,5 °C no modelo testado. Ainda em relação ao mês de agosto, a maior temperatura média (74 °C) alcançada pelo painel convencional foi registrada às 16h, enquanto

que no modelo testado a maior temperatura média alcançada foi de 58 °C, às 14 h. No mês de agosto foram registradas as menores temperaturas de aquecimento devido ao inverno. Contudo, o comportamento dos sistemas se manteve nos demais meses avaliados, ou seja, o painel convencional possibilitou maior conversão da irradiação solar em energia térmica e por mais tempo quando comparado ao modelo testado.

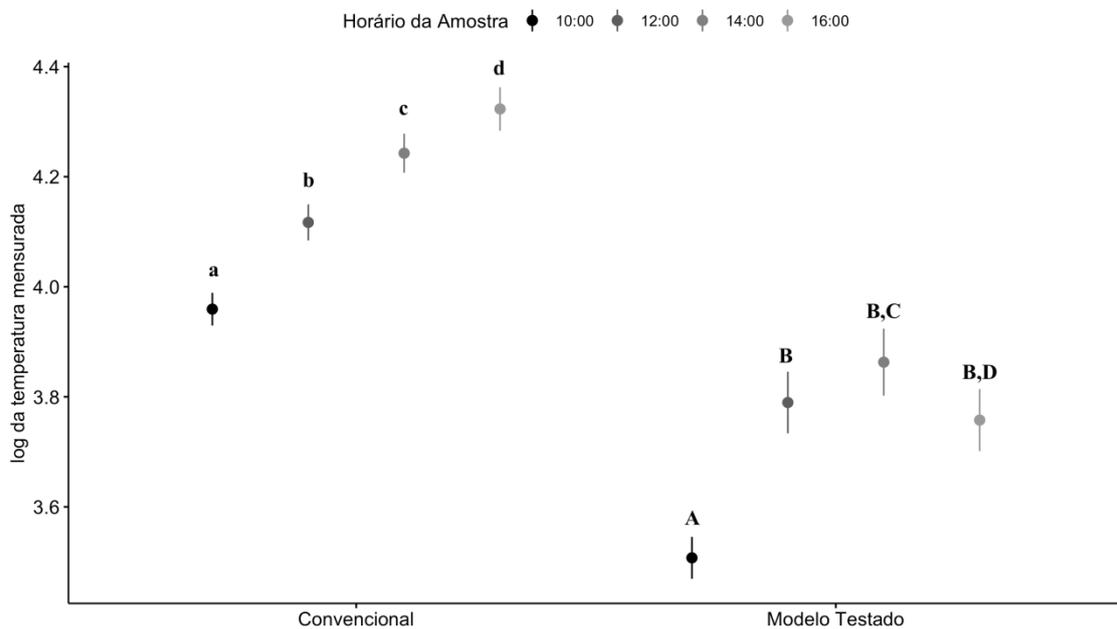
As maiores temperaturas no sistema convencional, que resultaram na média de 91,6 °C, foram observadas no mês de novembro, às 16h. Destaca-se que nesse período a temperatura da água de ingresso nos painéis superavam os 25 °C. No entanto, a média de temperaturas mais altas registradas no modelo testado (60,67 °C) também foi obtida no mês de novembro, porém às 14h.

Diante desses resultados, é possível destacar que o sistema comercial possibilita aquecimento mais uniforme com praticamente a mesma diferença no aumento de temperatura de um horário para o outro. Já o modelo testado possui uma diferença maior de mudança de temperatura das 10 às 12h em relação ao período das 12 às 14h, o que representa uma elevação de temperatura menos uniforme. Essas diferenças podem ser explicadas pelo fato do coletor convencional de tubo evacuado ter tecnologia avançada, permitindo que o vácuo funcione como isolante térmico, com maior eficiência e valores de temperatura mais elevados (THOMAS, 2015). Isto explica a diferença nos valores de aquecimento das águas e a maior regularidade no aquecimento observada no modelo convencional.

Conforme Thomas (2015), em estudo realizado com experimento de dois diferentes aquecedores solares de baixo custo, um com materiais reciclados de garrafas PET e caixas tetra pak e outro de PVC, ambos possibilitaram aquecimento superior a 14,6 °C. Se observada a média do maior registro de aquecimento com o modelo testado neste estudo, em que a temperatura no mês de novembro chegou a 60 °C, se comparada a média de entrada de água que foi de 25 °C, observa-se uma diferença de 35°C, o que demonstra o funcionamento do sistema construído.

A Figura 3 apresenta as diferenças estatísticas na elevação de temperatura entre os dois painéis analisados em diferentes horários de agosto a novembro de 2021, em Santa Rosa/RS.

Figura 3 – Análise comparativa das temperaturas registradas entre o painel convencional e o modelo construído e testado, no período de agosto a novembro de 2021, em Santa Rosa – RS



Nota: letras minúsculas diferem das maiúsculas, e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa, assim como letras maiúsculas diferentes nos tratamentos também indicam diferença significativa entre os horários avaliados.

Pela análise estatística dos dados coletados no sistema convencional evidencia-se que houve diferença significativa nas temperaturas da água de saída do painel em todos os horários avaliados, com a elevação da temperatura ao longo do dia. Quando a análise é realizada no modelo testado, percebe-se maior elevação da temperatura, com diferença significativa, das 10 às 12h, atingindo o pico de temperatura às 14h. No entanto a elevação observada nesse horário não difere da temperatura registrada às 12h. Mais tarde, às 16h a irradiação no painel não foi suficiente para elevar a temperatura em relação ao horário anterior, sendo a média alcançada equivalente, estatisticamente, ao valor registrado às 12h. Desta forma, constata-se que o painel testado não possui a mesma capacidade do painel convencional em converter a irradiação solar em energia térmica.

Essa diferença entre os coletores comparados se deve ao aquecedor solar de tubo a vácuo possuir isolamento da tubulação com fibras de lã de vidro. O coletor convencional consegue alcançar altas temperaturas, por que o vácuo funciona como isolante térmico (KISOLTEC, 2019). Este sistema tem maior capacidade de conversão da irradiação solar em energia térmica porque possui três camadas de tinta escura, ou seja, os tubos são pintados com uma camada de tinta antirreflexiva de cor preta, uma camada absorvente com base de

alumínio e uma camada reflexiva para radiação infravermelha de pintura cobre, o que potencializando o aquecimento da água (KISOLTEC, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo possibilitou a construção de um painel solar alternativo constituído em partes por resíduos recicláveis e também materiais de fácil aquisição em lojas de materiais de construção. Contudo, o sistema idealizado apresentou baixa capacidade de armazenamento de água e, por consequência, elevado custo equivalendo-se a um painel convencional com tubos à vácuo, e com a mesma capacidade de armazenamento de água. Por esse motivo, este modelo testado é desaconselhado quando se busca a redução de custos para o aquecimento da água a partir da irradiação solar.

Ambos os sistemas elevaram a temperatura da água de entrada, porém o aquecimento do sistema convencional foi mais eficiente, devido à tecnologia e material empregado, possibilitando elevar a temperatura da água em horários com menor intensidade de sol e dias nublados, apresentando ainda, maior uniformidade no aquecimento da água.

Diante dos resultados, o painel construído não apresentou benefícios financeiros e de eficiência, quando comparado ao convencional, devendo ser repensada a sua concepção.

REFERÊNCIAS

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2º ed., São José dos Campos - SP- Brasil- INPE, 2017. Disponível em:

http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf
Acesso em: 11 mai. 2021.

BASSO, LUIZ H. *et al.* Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar. **Jaboticabal**, v.30, n.1, p.14-21, 2010.

BUCHHOLZ, D. A. **Avaliação da satisfação dos usuários de sistemas de aquecimento solar da água em edifícios multifamiliares na cidade de Santa Rosa – RS.** 2018, 77 f, Monografia (graduação). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul- Curso de Engenharia Civil, 2018.

CANALENERGIA. **Brasil assume 16ª posição no ranking mundial de energia solar**, 2020. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53140046/brasil-assume-16a-posicao-no-ranking-mundial-de-energia-solar#:~:text=O%20Brasil%20assumiu%20a%2016%C2%AA,53%20GW%20de%20capacidade%20instalada>. Acessado em: 11 mai 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. Três Passos Clima (Brasil). Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/tres-passos-43589/>. Acesso em: 07 jun 2021.

CRESESB, 2019. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ECOLOGIC, 2021. **Aquecedor solar acoplado de baixa pressão**. Disponível em: <http://www.ecologicbr.com.br/>. Acesso em: 02 dez. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Território e Ambiente. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/tres-passos/panorama>>. Acesso em: 10 de Jun. 2021

KIOLTEC. **Conheça o aquecedor solar a vácuo e saiba como ele funciona!**, 2019. Disponível em: <https://blog.kisoltec.com.br/conheca-o-aquecedor-solar-a-vacu-e-saiba-como-ele-funciona/>. Acesso em 03 dez. 2021.

MARQUES, A. P. M. L. *et al.* Aquecimento de água por meio da captação de energia solar: programação para orçamento de sistema de aquecimento. **Cadernos de graduações**, v. 1 n.1 p. 19-30, 2014.

NASCIMENTO, S. Brilho do sol. Fazendas diminuem custo e melhoram a assepsia das vacas com água aquecida por coletores solares. **Revista Globo Rural**, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT335253-18281,00.html> . Acesso em: 17 abr. 2021.

NARDO, R. Energia solar sistemas fotovoltaicos. **Encontro de iniciação científica do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente**, v. 13, n. 13, 2017. 1 p. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/6405/6103#>. Acesso em: 11 abr. 2021.

NETO, F. J. *et al.* **Sistema econômico de aquecimento solar com coletor de placas planas para o semiárido**. In: CONIDIS CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 11, 2017, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Anais CONIDIS ISSN: 2526-186X, João Pessoa, PB. Editora Realize, 2017.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. **Base de dados de Pesquisa de Resíduos Sólidos Urbanos**. ABRELPE, 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/luhht/Downloads/Panorama-2020-V5-unicas.pdf> Acesso em: 12 jan 2022.

PATROSOL, **Coletor aquecedor solar modular a vácuo**, 2021. Disponível em: <https://www.patrosol.com.br/vacu/coletor-aquecedor-solar-modular-a-vacu-20-tubos>. Acessado em: 01 dez. 2021

PEREIRA, L. H. R. **ENERGIA SOLAR: importância, implantação, instalação, vantagens e durabilidade de um sistema de energia renovável**. 2018, 122 f. Monografia (Graduação). Centro Universitário do Sul de Minas - Curso de Engenharia Mecânica, 2018.

PEREIRA, F. Aquecedor solar de baixo custo pode ser feito em casa. **Jornal Extra**, São Paulo, 19 mai. 2012. Disponível em: <https://extra.globo.com/economia/100-dias-de-economia/aquecedor-solar-de-baixo-custo-pode-ser-feito-em-casa-4939943.html>. Acesso em: 03 dez. 2021.

R CORE TEAM. **R: A language environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.

RODRIGUES, D. **Introdução ao sistema de aquecimento solar**. Realizadores, Instituto Ekos Brasil e Vitae Civilis. Brasília. 132 pag. 2010,

RODRIGUES, F. I. da S. **Uso de aquecedor solar de baixo custo no preaquecimento de água para cocção de alimentos**. Recife, PE. 2019, 10 f. Monografia (graduação) - Instituto Federal Pernambuco - Curso de Engenharia Civil, 2019.

SILVA DE ASSIS, S. S.; LEQUE, C. S. B.; RONDON, D. S.; BÍLIO, R. S. **Aquecedor solar de água de baixo custo para uso doméstico** IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10, 2019, Anais Fortaleza: ConGeA, 2019.

SOCIEDADE DO SOL. **Manual de manufatura e instalação experimental do - asbc-aquecedor solar de baixo custo**. Versão 3.0, São Paulo, SP: Sociedade do Sol, 2009.

THOMAZ, N. **Sistema alternativo de aquecimento solar para água de banho no estado do Rio Grande do Sul**. 2014, 34 f. Monografia (Pós-Graduação). Universidade Federal de Santa Maria. Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, 2014.