



O uso de uma camada de gás carbônico em aquecedor solar de água feito com materiais reutilizados

Emerich M. Sousa, Lara G. Teixeira e Samanththa S. Oliveira



O presente trabalho descreve uma investigação cujo objetivo foi observar a influência do gás carbônico como gás estufa no aquecimento de água em aquecedor solar feito de materiais reutilizados. A temperatura da água de um aquecedor contendo uma camada de garrafas PET preenchidas com gás carbônico foi comparada com a temperatura da água de um aquecedor controle. Utilizou-se sensor de temperatura acoplado ao Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source*. Foram realizadas medições com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre o sistema de canos do aquecedor e posicionada a uma altura de 40 cm sobre o aquecedor. Observou-se que a camada de gás carbônico interferiu no aquecimento da água nas duas situações e, quando posicionada a uma altura de 40 cm, reduziu as perdas de calor especialmente no período da madrugada e horas iniciais de insolação. A presença do gás estufa, nessas condições, colaborou para a manutenção da água em temperaturas maiores do que sem a camada de gás estufa.

► aquecedor solar, gás estufa, eficiência energética ◀

Recebido em 18/11/2021, aceito em 11/04/2022

214

Na atualidade, os assuntos efeito estufa e aquecimento global têm conquistado grande visibilidade midiática, além de ganharem espaço em discussões nas escolas, entre cientistas e conversas informais (Coelho *et al.*, 2014). Na atmosfera terrestre existem naturalmente moléculas de água (H_2O), gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e outras, que absorvem a radiação na região do infravermelho e sofrem diversos tipos de interação com a energia absorvida – são chamados de “gases de efeito estufa” e são regulados pela própria biosfera terrestre. Esses gases formam uma espécie de barreira que aprisiona parte do calor do sol próximo à superfície da Terra e é responsável pela manutenção de uma temperatura global média no planeta de $15\text{ }^\circ\text{C}$ ao nível do mar (Junges *et al.*, 2020). Assim, parte do calor irradiado pela Terra é assimilado e dissipado em várias direções pelos gases do efeito estufa, incluindo uma parcela que volta da troposfera à superfície do planeta, o que dificulta a perda

de radiação infravermelha para o espaço e permite que a troposfera fique mais quente e habitável. Dessa forma, esses gases de efeito estufa apresentam um importante papel para a manutenção da vida.

Com a Revolução Industrial, a exploração econômica acelerada, o desmatamento de florestas e a queima de combustíveis fósseis, houve e continua ocorrendo um aumento da concentração de compostos gasosos causadores do efeito estufa, como CO_2 e CH_4 , que contribuem para o aumento significativo da temperatura da superfície da Terra, intensificando o aquecimento do planeta.

Com a Revolução Industrial, a exploração econômica acelerada, o desmatamento de florestas e a queima de combustíveis fósseis, houve e continua ocorrendo um aumento da concentração de compostos gasosos causadores do efeito estufa, como CO_2 e CH_4 , que contribuem para o aumento significativo da temperatura da superfície da Terra, intensificando o aquecimento do planeta.

Esse fenômeno, além de provocar alterações climáticas preocupantes que afetam diretamente as dinâmicas da sociedade, tem causado a diminuição da cobertura de gelo, o aumento do nível dos oceanos, do número de furacões, mudanças nos ecossistemas e a expansão de desertos.

O dióxido de carbono é o gás estufa expelido em maiores proporções para a atmosfera terrestre e apresenta



grande influência no fenômeno de agravamento do efeito estufa. Esse composto é ativo na faixa do infravermelho, que é caracterizada por comprimentos de onda entre 0,73 e 1000 μm (Leite e Prado, 2012). Quando uma dada radiação infravermelha incide sobre uma amostra do gás CO_2 , os comprimentos de ondas da radiação de 4,2 μm e 15 μm são absorvidos pelo gás (Junges *et al.*, 2018).

A molécula de CO_2 , que é triatômica linear e apolar, interage com a radiação infravermelha e as suas ligações químicas podem vibrar de acordo com diferentes modos de vibração: estiramento simétrico, estiramento assimétrico e dois modos de deformação angular, representados na Figura 1 (Junges *et al.*, 2020).

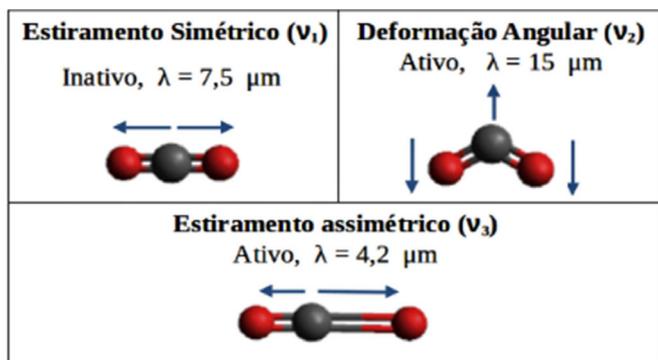


Figura 1: Os modos normais de vibração do CO_2 . Fonte: Junges *et al.* (2020).

Para que a molécula possa absorver radiação é necessário que durante a vibração ocorra uma mudança no momento de dipolo da molécula, isto é, apresente carga elétrica parcial negativa para um lado e parcial positiva para o lado oposto. Desse modo, para o dióxido de carbono, há absorção de radiação somente nos modos de vibração estiramento assimétrico (4,2 μm) e deformação angular (15 μm), já que, no modo de vibração simétrico (7,5 μm), o momento dipolo se mantém nulo, porque os átomos de oxigênio estão posicionados de forma simétrica, com a mesma distância em relação ao carbono. Entretanto, nos modos assimétricos e deformação angular, acontece a mudança do momento de dipolo da molécula durante a vibração, isto é, existe carga elétrica parcial negativa para um lado e parcial positiva para o lado oposto, sendo estes dois modos, portanto, ativos e absorvem radiação infravermelha (Junges *et al.*, 2020). O CO_2 absorve e reemite a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, sendo justamente as bandas de absorção de 4,2 μm e 15 μm que permitem a existência do efeito estufa (Junges *et al.*, 2018).

Um grande desafio que se apresenta é aumentar a produção energética mundial para manter os modelos de desenvolvimento econômico atuais e, paralelamente, reduzir a participação de combustíveis fósseis na matriz energética, com a redução das emissões de CO_2 . Justifica-se, portanto, a busca por fontes de energia renováveis, mas, ao mesmo tempo, estudos da viabilidade do uso de gás carbônico como gás estufa, com aplicação na melhoria da eficiência

energética, pode ser um caminho promissor para se desenvolver tecnologias que aproveitem características observadas em compostos químicos na natureza.

A energia solar é uma fonte limpa de energia, isto é, é um tipo de energia renovável que não causa poluição pela emissão de substâncias, e seu impacto para o aquecimento global é muito menor do que outras fontes. O uso de sistemas de aquecimento solar de água colabora para reduzir o consumo de energia e, especialmente, para reduzir uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Existem dois tipos de sistemas de aquecedores solares: ativo (com bomba) e passivo (sem bomba). Os sistemas passivos (Figura 2) apresentam a circulação natural e são os mais simples, consistindo, basicamente, de um coletor, tanque de armazenamento e conexão de tubos (Şerban *et al.*, 2016).

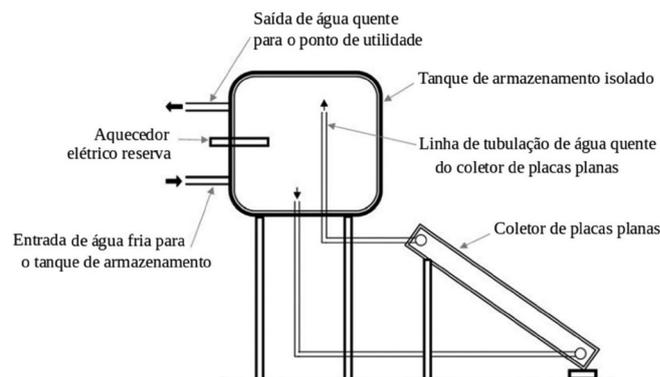


Figura 2: Diagrama de um sistema passivo de aquecimento solar de água. Fonte: adaptado de Şerban *et al.* (2016).

A ideia para o presente estudo surgiu de um projeto PIBIC-EM sobre a atuação do gás carbônico no processo de degelo (Neto *et al.*, 2013). Nele, utilizaram-se dois recipientes contendo gelo e, sobre cada um deles, uma garrafa PET de 2 litros. Uma dessas garrafas continha gás carbônico e a outra ar atmosférico. Foi posicionada uma lâmpada incandescente sobre o experimento e observado o volume de água obtido a partir do gelo derretido após um tempo em que a lâmpada ficava acesa, acompanhando-se a variação da temperatura com a utilização de termômetros. A utilização do CO_2 provocou um aumento perceptível na temperatura do sistema, acelerando o degelo.

Tal efeito também foi relatado por Coelho *et al.* (2014), em um experimento que simula o fenômeno do efeito estufa, utilizando dois sistemas – um contendo água e ar atmosférico e outro contendo água e gás carbônico –, sendo observado que o béquer que continha o dióxido de carbono apresentou uma maior temperatura, cerca de 1,0 $^{\circ}\text{C}$ a 1,5 $^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura encontrada no béquer que continha ar atmosférico.

Em experimentos que dependem da medição e registro de valores de temperatura, a capacidade de automatizar o processo permite ganhos consideráveis na quantidade e qualidade dos dados coletados. Nesse sentido, o uso de sensor de temperatura acoplado a uma placa microcontroladora garante o registro confiável de dados. Cavalcante *et al.*

(2011) enfatizam a simplicidade do uso da plataforma Arduino como aquisição e automação de dados, aliado ao custo relativamente baixo e bons resultados apresentados. Amorim *et al.* (2015) ressaltam a versatilidade dos sensores de temperatura DS18B20 que utilizam uma única via de comunicação (*one-wire bus*) com o dispositivo de aquisição de dados, o que permite colocar mais de um sensor numa única linha de comunicação serial. Esses sensores fornecem a temperatura Celsius com resolução programável de 9 a 12 bits, operam numa faixa de - 55 °C a +125 °C, com uma precisão de 0,5 °C na faixa - 10 °C a 85 °C (Maximintegrated, 2022). O consumo de energia é muito baixo, podendo-se usar as tensões disponíveis na própria placa de aquisição de dados, e podem ser encontrados facilmente no mercado nacional. Martinazzo e Orlando (2016) compararam três sensores de temperatura, dois analógicos (um termistor e um LM35) e um digital (DS18B20). O teste com os três sensores, coletando dados isoladamente, apresentou bons resultados, no entanto, o sensor digital DS18B20 mostrou-se mais estável e apresentou leituras extremamente precisas com variabilidade zero.

Inspirado pelo comportamento particular do gás carbônico em absorver determinados tipos de radiação e motivado em dar um aproveitamento a essa situação, o trabalho se propôs a investigar os efeitos do uso de gás carbônico em um aquecedor solar de água feito com materiais recicláveis e de baixo custo, procurando responder à pergunta: o uso de uma camada de gás carbônico acoplada a um aquecedor solar interfere no aquecimento da água? Especificamente, visou-se: (i) criar um sistema informatizado, utilizando sensores de temperatura acoplados ao Arduino, para coleta e armazenamento de dados; (ii) a construção de um equipamento para a produção de gás carbônico; (iii) o monitoramento da temperatura da água do aquecedor com a presença e com a ausência da camada de gás estufa; e (iv) a influência da distância dessa camada de gás ao sistema de canos do aquecedor sobre a temperatura da água do sistema.

Metodologia

O aquecedor utilizado corresponde a um sistema passivo, utilizando potes plásticos de 15 L como o reservatório de água, canos e conexões de PVC e materiais reutilizados, como garrafas PET e embalagens cartonadas (longa-vida). Uma sugestão de montagem é apresentada na Figura 3 e, na sequência, a visão de um painel de aquecimento e um aquecedor montado são apresentados na Figura 4.

No laboratório, normalmente, a obtenção do gás carbônico é feita a partir da reação entre ácido clorídrico (HCl) e o bicarbonato de sódio (NaHCO₃), conforme representado na equação 1. Utiliza-se um sistema montado com kitasato, no qual se coloca o bicarbonato de sódio, acoplado a um funil de decantação contendo solução aquosa de ácido clorídrico. O contato entre os reagentes é controlado usando-se o registro do funil. Uma mangueira plástica é acoplada na saída lateral do kitasato e conduz o gás produzido até o interior

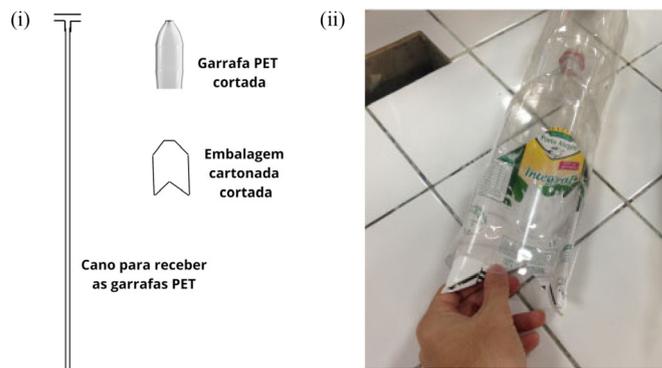


Figura 3: (i) Esquema dos materiais utilizados na construção do aquecedor. (ii) Demonstração do uso da embalagem cartonada. Fonte: autores.

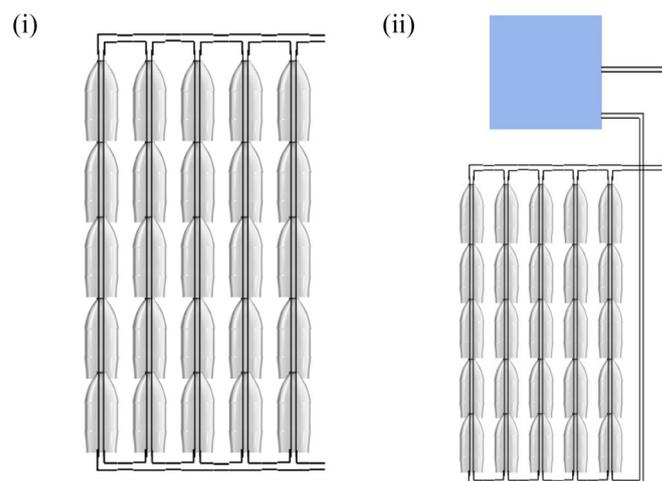
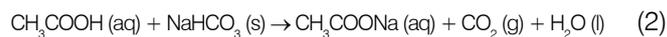


Figura 4: (i) Montagem do painel de aquecimento: as garrafas com as embalagens cartonadas, uma a uma, são posicionadas nos canos para formar o painel do aquecedor. (ii) Esquema geral do aquecedor montado. Fonte: autores.

da garrafa PET, previamente cheia com água e mergulhada em um recipiente também com água. À medida que o gás produzido é recolhido dentro da garrafa, há saída da água do interior da garrafa, que fica preenchida com o gás carbônico. A garrafa contendo gás é, então, fechada.



Nas condições de pandemia, o uso do laboratório ficou restrito e foi utilizado um procedimento caseiro alternativo que preservasse as condições de segurança. O gás carbônico foi produzido a partir da reação entre ácido acético (presente no vinagre) e bicarbonato de sódio sólido, conforme visualizado na equação 2.



O equipamento utilizado foi construído usando-se tubos e conexões de PVC e mangueira plástica (Figura 5). O dispositivo tinha a forma de uma coluna, com uma saída lateral na parte inferior e um registro separando as metades superior e inferior. Com o registro aberto, o bicarbonato de

sódio (em pó ou em solução aquosa) era adicionado na parte inferior; fechava-se o registro e o vinagre era adicionado na parte superior, sendo vedada com uma tampa com rosca. A mangueira acoplada à saída lateral era colocada dentro da garrafa PET totalmente preenchida com água e mergulhada em um tanque com água. Com a abertura do registro, o ácido acético entrava em contato com o bicarbonato de sódio levando à produção de gás, que era então recolhido dentro da garrafa PET.

O gás carbônico produzido na reação foi armazenado em garrafas PET de 1,5 litro usadas para formar uma camada de gás carbônico sobre um dos aquecedores (Figura 5).

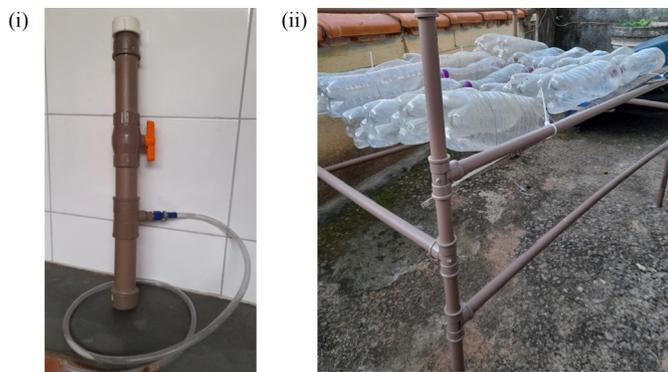


Figura 5: (i) Equipamento utilizado na produção de gás carbônico. (ii) Camada de gás carbônico, formada por garrafas PET preenchidas com o gás. Fonte: autores.

Para a coleta e registro dos dados de temperatura foi utilizado o Arduino Uno, relógio de tempo real (RTC), display LCD 16x2 com interface de comunicação I²C, módulo SD card para cartão de memória e sensores de temperatura DS18B20 (Figura 6) que fornecem leitura com duas casas decimais. O diagrama para montagem do Arduino é apresentado na Figura 7.

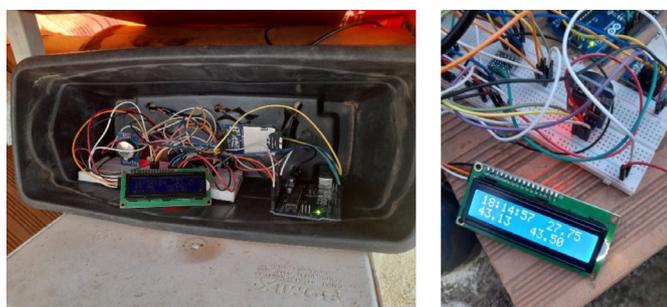


Figura 6: Visão do sistema utilizado para coleta e armazenamento de dados. Fonte: autores.

Os dados eram armazenados num arquivo “campo01.csv” e, em cada linha, eram gravadas a data (d/m/y) e a hora (h:m:s) em que a coleta foi realizada e os valores obtidos a partir dos três sensores. Os dados coletados e armazenados no arquivo CSV estavam disponíveis para serem manipulados em planilhas eletrônicas e salvos no formato xlsx. Utilizou-se a plataforma Arduino IDE 1.8.15 para desenvolver e carregar o sketch (códigos-fonte) para a placa Arduino.

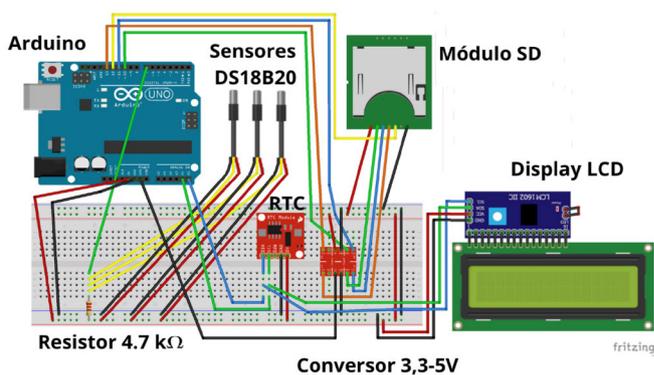


Figura 7: Diagrama de montagem do Arduino, sensor de temperatura, módulo SD e mostrador LCD. Fonte: autores.

As medições foram realizadas com intervalo de uma hora e foram feitas em duas situações: condição (I), medição no aquecedor controle (sem gás estufa) e no aquecedor com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento; e condição (II), medição no aquecedor controle e no aquecedor com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento (Figura 8).

Após a recolha de dados, procedeu-se a seu tratamento. Com este propósito, na presente investigação, recorreu-se a procedimentos estatísticos (técnica quantitativa de análise de dados). Foi utilizado o *software* de apoio LibreOffice 6.0.7.3 para tratamento dos dados e cálculos preliminares e o GNU PSPP 1.0.1 para a análise estatística descritiva e inferencial.

Resultados e discussão

Na condição (I), com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento, foram feitas 1146 coletas de temperatura (52 dias), e na condição (II), com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, foram feitas 808 coletas de temperatura (36 dias). A tabela 1 apresenta os períodos em que ocorreram as medições, nas duas condições. Na condição (I), inicialmente foram feitas 863 coletas nos meses de fevereiro e março, sendo acrescentadas 283 coletas no mês de junho, em uma tentativa de compensar o intervalo entre as coletas das condições (I) e (II).

Foram medidas a temperatura ambiente (T_{amb}), a temperatura da água no reservatório do aquecedor controle (T_{ac}) e a temperatura da água no reservatório do aquecedor com camada de gás estufa (T_{age}) simultaneamente, em um intervalo de uma hora. A análise estatística descritiva é apresentada na Tabela 2.

Utilizando-se o teste de amostras independentes constatou-se que houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$), dentro de cada condição estudada, entre as médias de T_{amb} e T_{ac} e entre as médias de T_{amb} e T_{age} . O fato de a temperatura média da água dos aquecedores ser maior que a temperatura média ambiente confirma que o aquecedor solar foi efetivo em promover o aquecimento da água, com ou sem camada de gás estufa. Observou-se que, na condição I, com

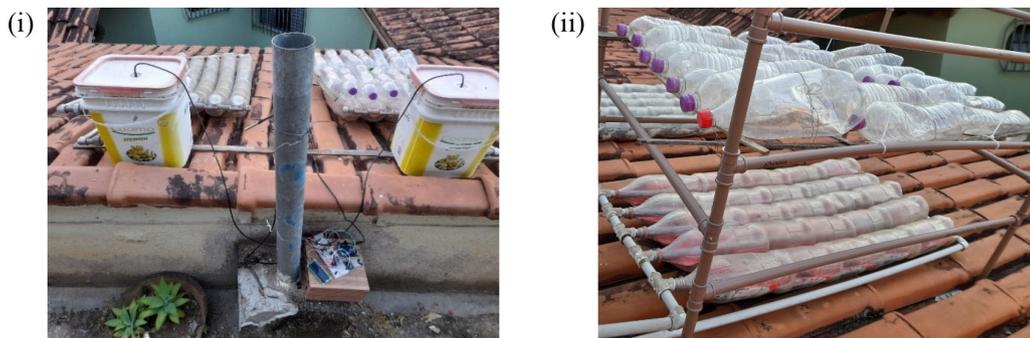


Figura 8: Visão dos aquecedores solares. (i) Condição I: o aquecedor da esquerda é o controle e o aquecedor da direita recebe a camada de gás carbônico diretamente sobre ele. (ii) Condição II: o aquecedor ao fundo é o controle e o aquecedor em primeiro plano recebe a camada de gás carbônico a uma altura de 40 cm. Fonte: autores.

Tabela 1: Períodos e números de coletas realizadas.

Condição	Período	Número de coletas	Total
I	08/02/21 - 19/02/21	265	1146
	20/02/21 - 19/03/21	598	
	15/06/21 - 27/06/21	283	
II	02/05/21 - 14/05/21	286	808
	18/05/21 - 09/06/21	522	

diferença estatística significativa ($p < 0,05$), a temperatura média da água do aquecedor controle (Tac) foi maior que a do aquecedor com a camada de gás carbônico (Tage). Na condição II, nessa comparação, não houve diferença estatística significativa ($0,328$; $p > 0,05$).

A leitura das temperaturas ocorreu com intervalo de uma hora, com pequenas flutuações devido a questões internas de registro do microcontrolador. Optou-se por trabalhar com os registros de temperatura nos intervalos de medição 0-1 h, 1-2 h, 2-3 h e assim sucessivamente, até o intervalo 23-24 h. Buscou-se, dessa maneira, maior compreensão sobre a variação da temperatura da água dos reservatórios dos aquecedores ao longo do dia e da noite, em cada uma das condições investigadas.

A fim de comparar o comportamento de um aquecedor em relação ao outro e, ainda, levar em conta as duas condições investigadas (I e II), trabalhou-se com a diferença

Tage - Tac. Comparou-se Tage - Tac para a condição I e, também, Tage - Tac para a condição II, e os dados são apresentados na Tabela 3.

Observa-se que, na condição I, com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento, a diferença Tage - Tac apresentou valores médios negativos em todos os intervalos de hora, indicando que a temperatura da água do reservatório do aquecedor com gás estufa foi inferior à temperatura da água do reservatório do aquecedor controle. Isso sinaliza que a presença da camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento reduz a capacidade de aquecimento da água pelo aquecedor. Na condição II, com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, a diferença Tage - Tac apresentou valores médios negativos menores que na condição I ou positivos, em vários intervalos de hora, sugerindo maior eficiência na retenção de calor pelo sistema nesses períodos. A camada de gás, assim posicionada, afetou a temperatura da água ao longo do dia, fazendo com que parte do calor fosse retida e propiciando menor queda da temperatura durante a madrugada e a manhã. Os dados podem ser visualizados também com auxílio da Figura 9.

A diferença Tage - Tac da condição II apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) em relação à condição I em 18 horas do dia, nos intervalos 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 20-21, 21-22, 22-23 e 23-24. A diferença Tage - Tac da condição

Tabela 2: Número de coletas, médias, desvios-padrão, erro padrão, mínimo e máximo e medianas para as variáveis temperatura ambiente (Tamb), temperatura da água no reservatório do aquecedor controle (Tac) e temperatura da água no reservatório do aquecedor com gás estufa (Tage), na condição (I), com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento e na condição (II), com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento.

Condição	Temperatura	N	Média (°C)	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
I	Tamb	1146	22,98	5,67	,17	10,69	39,38
	Tac	1146	29,24	8,15	,24	13,81	52,75
	Tage	1146	28,14	7,51	,22	13,75	50,50
II	Tamb	808	21,39	5,86	,21	11,56	37,06
	Tac	808	27,51	8,29	,29	14,25	49,38
	Tage	808	27,12	7,77	,27	14,38	47,38

Tabela 3: Número de coletas e médias para as diferenças Tage - Tac, considerando o intervalo de hora de medição e as condições do experimento.

Intervalo de hora	Condição	N	Média (Tage - Tac) °C	Condição	N	Média (Tage - Tac) °C
0-1	1	48	-1,12	2	34	-,19
1-2	1	47	-,97	2	34	-,09
2-3	1	48	-,92	2	34	-,06
3-4	1	48	-,80	2	34	,00
4-5	1	48	-,73	2	34	,04
5-6	1	48	-,63	2	34	,08
6-7	1	48	-,59	2	34	,08
7-8	1	47	-,47	2	33	,09
8-9	1	47	-,32	2	34	,13
9-10	1	47	-,22	2	34	,67
10-11	1	46	-,04	2	34	,86
11-12	1	48	-,53	2	32	,63
12-13	1	48	-,71	2	33	-,10
13-14	1	48	-1,04	2	33	-,70
14-15	1	48	-1,41	2	33	-1,24
15-16	1	48	-2,00	2	33	-1,68
16-17	1	48	-2,07	2	33	-1,68
17-18	1	48	-1,87	2	34	-1,64
18-19	1	48	-2,06	2	34	-1,36
19-20	1	48	-1,90	2	34	-1,11
20-21	1	48	-1,78	2	34	-,82
21-22	1	48	-1,61	2	34	-,61
22-23	1	48	-1,44	2	34	-,43
23-24	1	48	-1,26	2	34	-,27

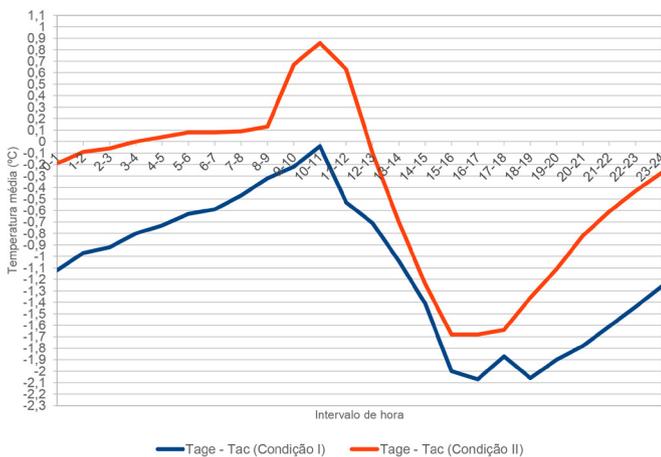


Figura 9: Médias para as diferenças Tage - Tac, considerando o intervalo de hora de medição e as condições do experimento.

II não apresentou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) em relação à condição I nos intervalos 14-15, 15-16,

16-17, 17-18, 18-19 e 19-20, ou seja, durante esse período de 6 horas, a posição da camada de gás carbônico não interferiu na temperatura da água. A Figura 10 reúne os valores de p para a comparação Tage - Tac em cada intervalo de hora.

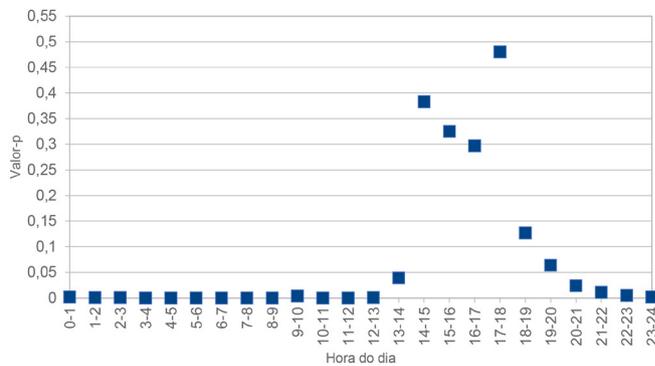


Figura 10: Valor-p para a comparação entre as médias de diferenças Tage - Tac, nas duas condições do experimento, considerando o intervalo de hora de medição.

Neste artigo apresentamos uma investigação baseada em um aparato experimental, motivada por questões relacionadas ao fenômeno do efeito estufa e pela possibilidade de seu uso para o aumento da eficiência energética. Comparou-se as temperaturas de dois aquecedores solares de água feitos de materiais reutilizados: em um deles utilizou-se uma camada de garrafas PET com gás carbônico colocada sobre a coluna de aquecimento e em outro não.

A camada de gás carbônico não colaborou para elevar a temperatura do aquecedor quando diretamente posicionada sobre a coluna de aquecimento do aquecedor solar, mas, quando posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, favoreceu a diminuição das perdas de calor do aquecedor, especialmente no período da madrugada e horas iniciais de insolação, reduzindo a amplitude térmica. Se durante o período de maior insolação, a presença de gás estufa a uma altura de 40 cm não foi tão eficiente para incrementar o aquecimento da água do reservatório, durante a noite e primeiras horas de insolação, a presença do gás estufa, nessas condições, reduziu as perdas de calor e colaborou com a manutenção da água em temperaturas maiores do que sem a camada de gás estufa.

A partir dos resultados, constata-se que essa pesquisa contribui para o melhor entendimento do fenômeno do efeito estufa e da utilização do gás carbônico em sistemas que envolvem troca de calor. Sugerem-se novos estudos abordando diferentes alturas da camada de gás estufa em relação ao aquecedor, o uso de diferentes quantidades de gás estufa na camada de gás e a utilização de outros gases estufa.

Além disso, o trabalho poderá colaborar para o ensino de Ciências, tanto no que se refere ao estudo da temática de aquecimento global e fontes de energia limpas e acessíveis, desafios descritos nos Objetivos de Desenvolvimento

Sustentável (ONU, 2015), quanto a questões de dimensão investigativa e de domínio das linguagens específicas das Ciências da Natureza, propostos na Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018).

Destaca-se a importância da utilização dos sensores de temperatura acoplados ao microcontrolador Arduino, o que viabilizou a coleta de dados de maneira contínua, 24 horas por dia, no intervalo de tempo estipulado. É um sistema relativamente simples, preciso e de baixo custo que pode ser incrementado em outros tipos de experimentos, e que permite o uso de outros sensores. Problemas com a estabilização da coleta de dados foram contornados e o uso do mostrador LCD facilitou o acompanhamento do recolhimento das informações. Sugere-se, para futuros estudos, a possibilidade de utilizar a transmissão de dados via internet, permitindo tanto o monitoramento à distância como a recolha de dados sem interrupção nas gravações.

Registra-se, ainda, que, com a pandemia e o distanciamento social, o experimento foi transferido do colégio para a casa de um dos autores, gerando alguns desafios para a produção desse trabalho, como a limitação de materiais e localização, já que, com a indisponibilidade do laboratório, a produção de gás carbônico pelos métodos convencionais ficou comprometida, optando-se por um equipamento alternativo.

Emerich Michel de Sousa (emerich.sousa@ufv.br), Licenciado em Química, doutor em Ensino e Divulgação das Ciências pela Universidade do Porto (Portugal), é professor de Química e Técnicas Gerais de Laboratório de Química do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG – BR. **Lara Gomes Teixeira** (lara.g.teixeira@ufv.br), estudante do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa, é ex-bolsista júnior do CNPq. Viçosa, MG – BR. **Samantha Sanches de Oliveira** (samantha.oliveira@ufv.br) estudante do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa, é bolsista júnior do CNPq. Viçosa, MG – BR.

Referências

AMORIM, H. S.; DIAS, M. A. e SOARES, V. Sensores digitais de temperatura com tecnologia one-wire: Um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 4, p. 4310-1 - 4310-9, 2015.

BRASIL – Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, C.; TAVOLARO, C. e MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503, 2011.

COELHO, A.; BARBALHO, E. S. e ESCREMIN, J. V. Desenvolvimento de um experimento sobre o efeito estufa: uma proposta para o Ensino. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 1, p. 142-151, 2014.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T. e SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 5, p. 126-151, 2018.

JUNGES, A. L.; BÜHLER, A. J.; MASSONI, N. T. e SIEBENEICHLER, A. F. S. O “Efeito Estufa” na Sala de Aula:

um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 849-864, 2020.

LEITE, D. O. e PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, p. 2504-1 - 2504-9, 2012.

MARTINAZZO, C. A. e ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduino. *Perspectiva* (Erechim, RS), v. 40, n. 151, p. 93-104, 2016.

MAXIMINTEGRATED. DS18B20 – Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>, acesso em mar. 2022.

NETO, M. D.; SOUSA, E. M. e SANTANA, L. L. S. Laboratório de Química inclusivo: uma proposta de adequação de práticas laboratoriais. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO ACADÊMICA, 2013, Viçosa. Anais[...]. Viçosa: UFV, 2013. Disponível em: <https://www3.dti.ufv.br/sia/vicosa/2013/trabalhos/419>, acesso em mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU).

Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>, acesso em mar. 2022.

ȘERBAN, A.; BĂRBUȚĂ-MIȘU, N.; CIUCESCU, N.; PARASCHIV, S. e PARASCHIV, S. Economic and environmental analysis of investing in solar water heating systems. *Sustainability*, v. 8, n. 12, p. 1286, 2016.

Abstract: *The use of a layer of carbonic gas in a solar water heater made from reused materials.* The present paper describes an investigation aimed at observing the influence of carbon dioxide as a greenhouse gas in the heating of water in a solar heater made from reused materials. The water temperature in a heater containing a layer of PET bottles filled with carbon dioxide was compared with the water temperature in a control heater. Temperature was measured with sensors coupled to Arduino, which is an open source electronic prototyping platform. Measurements were made with the greenhouse gas layer positioned directly over the heater pipe system and positioned 40 cm above the heater. It was observed that the carbon dioxide layer interfered with the heating of the water in both situations and, when positioned at a height of 40 cm, reduced heat losses especially in the early morning and early hours of sunlight. The presence of greenhouse gas in such conditions helped to maintain water at higher temperatures than without the greenhouse gas layer.

Keywords: solar heater, greenhouse gas, energy efficiency.



A publicação deste artigo foi patrocinada
pelo Conselho Federal de Química (CFQ)