

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
MATEUS TEODORO SANTOS SILVA

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COPOS TÉRMICOS: um estudo de caso do copo
Stanley®**

Varginha
2022

MATEUS TEODORO SANTOS SILVA

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COPOS TÉRMICOS: um estudo de caso do copo
Stanley®**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, para obtenção de grau de bacharel sob a orientação do Prof.Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2022

MATEUS TEODORO SANTOS SILVA

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COPOS TÉRMICOS: um estudo de caso do copo
Stanley®**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, para obtenção de grau de bacharel pela banca examinadora:

Aprovado em: ____/____/____

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico primeiramente a Deus por tudo, aos meus pais por todo apoio para finalizar meu curso e ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes pela orientação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sempre primeiro a Deus por ter me sustentado até aqui. A minha família, por sempre terem me apoiado em todos os momentos. Aos meus colegas de sala Otavio Nicolau, Mateus Fonseca e Pedro Antônio, que são pessoas que levarei para fora da faculdade, e a todos os professores e funcionários do grupo Unis.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo desse trabalho é apresentar os processos de transferência de calor que acontecem no interior de copos térmicos, em especial do copo Stanley® que se trata a monografia, visando demonstrar as variações de temperatura em relação ao tempo para saber a eficiência colocando água fria dentro do recipiente e deixando para testes durante três horas, onde a idéia é que ocorra o mínimo de adição de temperatura. A transferência de calor pode ocorrer em diversas áreas do nosso cotidiano e existem três maneiras diferentes para que isso aconteça que são através da condução, convecção e radiação, onde todas elas vão ser explicadas durante o trabalho. O projeto busca fazer um estudo sobre um copo Stanley®, um copo feito de aço inoxidável, que tem a capacidade de manter a temperatura das bebidas por mais tempo do que a convencional, o trabalho proposto busca mostrar com dados quantitativos coletados durante os experimentos, a mudança em graus Celsius do copo Stanley®, isso sempre levando em consideração, as variáveis do ambiente externo dos testes. Após a coleta de todas as medições de temperatura foi possível observar, a variação do copo Stanley® que teve uma variação total nas três horas e também foi feito uma comparação com um copo de acrílico, onde colocado sob as mesmas condições, foram visto a sua variação total.

Palavras - chave: Copo Stanley®. Transferência de calor. Condução. Convecção. Radiação.

ABSTRACT

The objective of this work is to present the heat transfer processes that take place inside thermal cups, especially the Stanley® cup that is the monograph, aiming to demonstrate the temperature variations in relation to time to know the efficiency by putting cold water inside. of the container and leaving for tests for three hours, where the idea is that the minimum addition of temperature occurs. Heat transfer can occur in several areas of our daily lives and there are three different ways for this to happen which are through conduction, convection and radiation, where all of them will be explained during work. The project seeks to do a study on a Stanley® cup, a cup made of stainless steel, which has the ability to maintain the temperature of drinks for longer than the conventional one, the proposed work seeks to show with quantitative data collected during the experiments, the change in degrees Celsius of the Stanley® cup, this always taking into account the variables of the external environment of the tests. After collecting all the temperature measurements, it was possible to observe the variation of the Stanley® cup that had a total variation in the three hours and a comparison was also made with an acrylic cup, where placed under the same conditions, its total variation.

Keywords: *Stanley® Cup. Heat transfer. Driving. Convection. Radiation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Convecção em líquido.....	18
Figura 2 – Interior da garrafa térmica.....	26
Figura 3 – Copo Stanley®.....	28
Figura 4 – Termômetro digital.....	30
Figura 5 – Copo acrílico.....	31

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1.....	14
Equação 2.....	18
Equação 3.....	18
Equação 4.....	19
Equação 5.....	20
Equação 6.....	21
Equação 7.....	21
Equação 8.....	21
Equação 9.....	21
Equação 10.....	23
Equação 11.....	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	13
2.1 Condução	13
2.2 Convecção	17
2.2.1 Convecção normal	19
2.2.2 Convecção Forçada	20
2.3 Radiação	22
2.3.1 Radiação do corpo negro.....	23
3 FUNCIONAMENTOS DA GARRAFA TÉRMICA	25
4 METODOLOGIA	27
4.1 Dados do copo Stanley®	27
4.2 Ensaios	28
4.2.1 Primeiro ensaio.....	29
4.2.2 Segundo ensaio.....	30
4.2.3 Terceiro ensaio	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A temperatura é uma medida de quanto às moléculas de uma substância é agitada, quanto maior a temperatura, maior a agitação. Calor é o processo de transferência de energia de um objeto para outro, impulsionado inteiramente por diferenças de temperatura. A transferência de energia pode ocorrer no corpo devido a gradientes de temperatura, a transferência de energia ocorre até que o equilíbrio térmico seja estabelecido, ou seja, a temperatura sempre ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, até que as temperaturas se tornem iguais. (OLIVEIRA, 2018).

O processo de transferência de calor pode ocorrer em diversas áreas do nosso cotidiano e existem três maneiras diferentes para que isso aconteça que são elas através da condução, convecção e radiação. A condução depende do contato entre o corpo quente e o frio, por meio da diferença de temperatura entre duas superfícies ou regiões em um mesmo meio, ocorre mais acentuada em sólidos. A convecção é a transferência de energia que acontecem em líquidos e gases, sendo um fluido em movimento e uma superfície no momento em que eles se encontram em temperaturas diferentes e por último. A radiação, que depende da exposição da emissão de radiação entre corpos na forma de ondas eletromagnéticas, que têm o poder de aquecer, no caso da radiação é o processo pelo qual o calor é transferido de um corpo sem o auxílio do meio interveniente, não precisa de meio para ocorrer, diferente da condução e convecção, pois nesse tipo de processo a energia térmica é transferida por ondas eletromagnéticas, que são capazes de se propagar no vácuo, o mesmo tipo de transferência acontece nas garrafas térmicas onde tem o vácuo para evitar que aconteça a convecção, mas acaba acontecendo à radiação (ALENCASTRO, 2015).

O motivo pelo qual esse tema foi proposto é o estudo que proporciona a temperatura de líquidos dentro de um copo por mais tempo, sem que haja mudanças térmicas, esse projeto busca compreender os tipos de processos de transferência de calor que ocorrem nesse tipo de copo. Esse tipo de tecnologia serve para ter um privilégio de poder beber a sua bebida gelada por um período de tempo maior que o convencional. Essa tecnologia pode ser aplicada em outros ambientes dentro da engenharia onde se precisa dessas vantagens que foram citadas anteriormente. O projeto fez um estudo sobre um copo Stanley®, um copo feito de aço inoxidável, que tem a capacidade de manter a temperatura das bebidas por até 4 horas e meia sem perder grandes quantidades de calor segundo os fabricantes, o trabalho proposto estudou

de forma prática com levantamentos de dados quantitativos, a mudança de temperatura que ocorre no copo em relação com o tempo, e mostrou as variações e perdas que aconteceram nesse período de tempo.

2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Calor é a transferência de energia de um objeto para outro, impulsionada inteiramente por diferenças de temperatura. A transferência de energia pode ocorrer no corpo devido a gradientes de temperatura, é importante notar que o corpo não tem calor. A transferência de energia ocorre até que o equilíbrio térmico seja estabelecido, ou seja, as temperaturas se tornem iguais. A temperatura é uma medida de quanto as moléculas de uma substância são agitadas, quanto maior a temperatura, maior a agitação.

A transferência de calor ocorre de três processos diferentes: condução, convecção e radiação (OLIVEIRA, 2018).

2.1 Condução

É o fenômeno de transferência de calor dentro de um objeto (sólido ou não sólido) ou na interface entre objetos, em que a energia térmica é transferida entre partículas de um meio material por agitação de moléculas presentes no sistema. Este efeito ocorre quando há um gradiente de temperatura ao longo deste meio material e moléculas em maior temperatura, onde se transferem parte de sua energia para moléculas em menor temperatura, buscando o equilíbrio térmico (QUIRINO, 2018).

A transferência de calor condutiva é a transferência de energia térmica entre as partículas que compõem um sistema. Essas partículas que formam o sistema recebem energia e assim começam a vibrar com maior intensidade. Essa agitação é transferida de uma partícula para outra até se propagar até o final de todo o sistema, ou seja, esse tipo de transferência de calor ocorre de átomo para átomo devido a gradientes de temperatura (MELLO, 2016).

A condução de calor é uma forma de transferir energia sem transferir matéria. Sob a ação da diferença de temperatura, o calor é transmitido por meio de agitação molecular e impacto entre o meio material. Por esse motivo, as moléculas só podem ocorrer por meio de meios materiais (Sólido e fluido) e não acontecerá no vácuo. A condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais. Quanto maior for o seu valor, melhor será o condutor do material. Materiais de baixo valor a condutividade térmica são chamadas de isolante térmico. Não existe um isolador térmico perfeito, assim como não existe um isolador elétrico perfeito, materiais com altos valores de condutividade térmica são chamados de condutores térmicos. (OLIVEIRA, 2018).

A condução de calor também pode ocorrer por contato físico, desde que estejam conectados entre si, os sólidos trocam calor entre si. Nesse caso, geralmente é observada uma queda de temperatura na junção entre os objetos, fenômeno conhecido como resistência térmica de contato ou interfacial. Podem ser observados fenômenos de transferência de calor em estado transitório ou estacionário. Na condução transiente, o fluxo de calor muda ao longo do tempo, o que pode ser devido à inserção, remoção ou mudança de uma fonte de calor dentro do sistema, ou devido a condições iniciais que estão fora do equilíbrio térmico. Geralmente, essa mudança continuará até que ocorra um novo equilíbrio térmico. Na condução permanente, a gradiente térmica no interior do sistema é mantida constante ao longo do tempo, ou seja, é imutável a diferença de temperaturas que geram esse fenômeno (QUIRINO, 2018).

Os metais geralmente têm uma alta condutividade e, portanto, são considerados condutores térmicos. Com base na experiência, é determinado que a condutividade térmica de um metal seja diretamente proporcional à sua condutividade elétrica. Sendo assim, metais que são bons condutores de eletricidade também são bons condutores de calor (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Souza (2016), a transferência de calor por condução é descrita pela lei de Fourier. A lei afirma que o fluxo de calor depende da mudança de temperatura no meio. Baseia-se em observações experimentais, onde o tipo de material que constitui o corpo depende da intensidade do fluxo de calor. Em outras palavras, cada material exibe comportamentos relacionados à estrutura dos átomos, moléculas e elementos químicos que compõem cada material, determinando assim suas características.

Uma propriedade térmica importante é a condutividade térmica, que é representada pela letra k . Que é específico para cada material porque depende da estrutura física da matéria. Para aplicar a lei de Fourier, precisamos saber a condutividade térmica do material em questão.

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde, considerando todas as unidades de medidas no sistema métrico:

q = fluxo de calor por condução (Kcal/h);

k = condutividade térmica do material;

A = área da seção através da qual o calor flui, medida perpendicularmente à direção do fluxo (m^2);

dT/dx = razão de variação da temperatura (dT), com a distância (dx), na direção x do fluxo de calor ($^{\circ}C/h$) (FRAGA, 2013).

2.1.1 Condutividades térmicas dos materiais

Segundo Alencastro (2016), A condutividade térmica representa a taxa temporal de transmissão de energia, sob a forma de calor, através de um material, quanto maior for a condutividade térmica de um material, melhor condutor ele é. A condutividade térmica de uma substância é geralmente maior na fase sólida e menor na fase gasosa. Ao contrário dos gases, a condutividade térmica da maioria dos líquidos diminui com o aumento da temperatura, sendo a água uma exceção notável. Como os gases, a condutividade térmica dos líquidos diminui com o aumento da massa molar. Metais líquidos (como mercúrio e sódio) têm altos valores de condutividade e são muito adequados para aplicações que requerem alta velocidade de transferência de calor para líquidos, como usinas nucleares.

Em sólidos, a condução de calor é o resultado de dois efeitos: Vibração da rede excitada pelo movimento vibracional das moléculas dispostos em uma posição relativamente fixa, periodicamente, formando uma rede, e a energia transmitida por meio do movimento livre dos elétrons existentes no sólido. A condutividade térmica de um sólido é determinada pela soma dos componentes da rede e dos componentes eletrônicos relativamente altos, a condutividade térmica de metais puros é principalmente devido à composição do produto eletrônico. O componente de rede da condutividade térmica depende fortemente de como as moléculas estão organizadas, por exemplo, os diamantes são sólidos feitos de um cristal altamente ordenado com o maior valor de condutividade conhecido, aquecido à temperatura ambiente, e bons condutores de calor e eletricidade, e tem os semicondutores como os silícios, são bons condutores térmicos, mas a condutividade térmica é fraca na questão de condutor de eletricidade (ALENCASTRO, 2015).

De acordo com, Oliveira (2018), a condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais. São chamados de isolantes térmicos os materiais com baixo valor de condutividade térmica, não existe isolante térmico perfeito, da mesma forma que não há isolante elétrico perfeito. Aqueles com alta condutividade térmica são chamados de condutores térmicos. Os metais geralmente têm alta condutividade elétrica como se pode observar no quadro 1 abaixo, onde o cobre é o que apresenta maior valor de condutividade térmica, portanto, são

considerados condutores térmicos. É empiricamente determinado que a condutividade térmica de um metal seja diretamente proporcional à sua condutividade elétrica. Portanto, os metais que são bons condutores de eletricidade também são bons condutores térmicos.

Quadro 1: Condutividade térmica de alguns materiais

Materiais	Condutividade Térmica (W/m.K)
Ar	0,024
Madeira	0,04 – 0,12
Água a 20 °C	0,6
Tijolo	0,7
Concreto	0,8
Vidro	0,8
Vidro Borossilicato (Pyrex™)	1,13
Gelo	1,6
Piso cerâmico	1,65
Ferro	79,5
Alumínio	205
Cobre	385

Fonte: (OLIVEIRA, 2018).

Em comparação com os metais. Madeira, vidro, cerâmica, e tijolos apresentam menor condutividade térmica como mostra o acima apresentado. Portanto, são maus condutores de calor. É por isso que as xícaras são usadas em vez de copos de metal para beber líquidos quentes. Suponha que objetos de metal e madeira tenham a mesma temperatura. Em um dia frio, se tocamos um objeto de metal, sentimos que a temperatura é mais baixa que a de um objeto de madeira. Isso porque, devido à pequena condutividade térmica da madeira, há pouca transferência de calor da mão para a madeira. Ao tocar em metal, devido há alta condutividade térmica, o calor conduzido da mão para o objeto é maior, temos uma sensação de temperatura mais baixa. Os gases são os melhores isolantes térmicos. Pode-se ver no quadro 1 que a condutividade térmica do ar é a mais baixa. Apesar disso, os gases podem

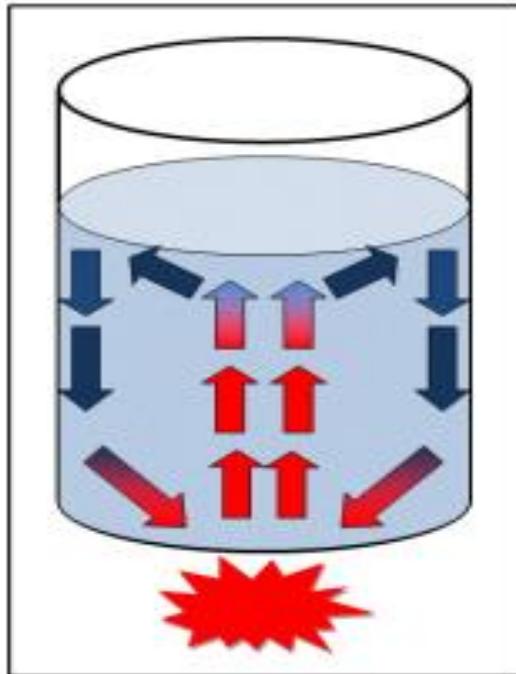
transferir calor por meio da transferência de calor por convecção, tema que será abordado na sequência (OLIVEIRA, 2018).

2.2 Convecção

Segundo Mello (2016), a transferência de calor por convecção é uma forma comum de transferência de calor de gás e líquido. Quando os dois são combinados, ocorre entre o fluido em movimento e a superfície encontrada em diferentes temperaturas. Transferência através de movimento molecular aleatório e movimento global de fluidos.

Para Pellegrini (2019), o modo transferência de calor denominado convecção nada mais é do que condução de calor em um meio em movimento (necessariamente um fluido). Na convecção, além da transferência de calor por meio de processos relacionados à condução (ou seja, a translação, rotação e vibração das moléculas), a energia também é transmitida pelo movimento macroscópico do meio. Este movimento pode ter duas origens diferentes: O movimento é causado naturalmente pela diferença de temperatura no fluido e a mudança de densidade correspondente, que produz flutuabilidade, isso é o movimento é exercido por alguma força externa, como gradiente de pressão, campo de gravidade ou máquina. O primeiro caso é chamado de convecção natural (ou livre), e o segundo caso é chamado de convecção forçada. Na verdade, devido à convecção forçada, ele faz contato com envelope de fluido em diferentes temperaturas, também estabelecerá convecção natural, portanto, não há convecção forçada pura. A seguir uma figura que mostra como o processo de convecção ocorre em um fluido.

Figura 1: Convecção em líquido.



Fonte: OLIVEIRA (2018).

Para exemplificar este fenômeno de convecção, pode-se imaginar uma nova folha de metal fundido que precisa ser resfriada. Se nenhum fluxo de ar for estabelecido (nem livre nem obrigatório), a placa aquecerá o ar circundante por meio de condução e levará muito tempo para resfriar a placa. Porém, se estabelecermos fluxo de ar para renovar o ar em contato com a placa, a primeira camada de ar será rapidamente removida e dará lugar à camada fria, pois possui uma diferença de temperatura maior com a placa fria, estabelecendo uma alta troca de calor de fluxo em uma determinada unidade de tempo e área, esse fenômeno ocorrerá muitas vezes, melhorando assim a eficiência de resfriamento da placa. Supõe-se, portanto, que a troca de calor está ligado com a área de troca de calor e a velocidade do fluido no entorno, e também, da diferença de temperatura entre o fluxo de ar e o corpo (SOUZA, 2016).

Assim, a taxa de transferência de calor por convecção é dada por:

$$q = h(T_s - T_\infty) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

Ou

$$q = hAs(T_s - T_\infty)[W] \quad (3)$$

Onde:

q= Potência da energia (calor);

A_s = Área da superfície de transferência de calor (m^2);

T_s = Temperatura da superfície do objeto ($^{\circ}C$);

T_{∞} = Temperatura do fluido distante do objeto ($^{\circ}C$);

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$).

Esse tipo de transferência de calor pode ser natural (também chamado de livre), onde o movimento do fluido é dado apenas por diferenças de densidade, que ocorrem devido aos gradientes de temperatura; ou forçado, onde o movimento do fluido é causado por fontes externas (bombas, ventiladores, dispositivos de sucção) (MELLO, 2016).

2.2.1 Convecção normal

Segundo Pellegrini (2019), a troca de calor também ocorre por meio da movimentação do fluido, mas, neste caso, o fluido não é afetado por forças externas de bombas, máquinas ou ventiladores. Existem algumas situações de convecção natural: quando a força causada pela diferença entre o fluido (campo gravitacional) e a densidade do fluido está relacionada às mudanças de temperatura, e se a temperatura da superfície for superior à temperatura do ar. Quando a temperatura da camada extra de ar próxima ao solo é mais alta do que a temperatura disso irá expandir o fluido, reduzindo sua densidade, então, a força causada pelo gradiente a densidade de massa (flutuabilidade), leva a uma camada limite convectiva na qual o fluido aquecido sobe verticalmente.

De acordo com Fraga (2013), para a convecção natural as relações empíricas para as geometrias mais comuns imersas (escoamento externo) são:

$$Nu = \frac{h_{conv} \times L}{K} = C \times Ra \quad (4)$$

Onde:

Nu = Corresponde ao número de Nusselt médio;

h_{conv} = Coeficiente médio de convecção;

L = Comprimento;

C = Constante empírica determinada em função do número de Rayleigh;

Ra = Número de Rayleigh;

K = Coeficiente de condutividade térmica do material sólido.

De acordo com Souza (2016), o número de Rayleigh (Ra) é um número sem dimensão, está intimamente relacionado ao número de Grashof (Gr) e ambos são usados para descrever a transferência de calor por convecção natural. O número de Rayleigh é simplesmente definido como o produto do número de Grashof e o número de Prandtl (Pr), como mostram a primeira parte da formula abaixo.

$$Ra = Gr \times Pr = \frac{g \times \beta (t_s - t_\infty) L^3}{\nu \times \alpha} \quad (5)$$

O número de Rayleigh também relaciona a geometria do objeto e o gradiente de temperatura entre o objeto e o fluido ao longe com a densidade e a viscosidade do fluido.

Onde:

Gr = Número de Grashoff, tabelado para cada tipo de fluido;

Pr = Número de Prandtl, tabelado para cada tipo de fluido;

g = Aceleração da gravidade;

β = Coeficiente da expansão térmica volumétrico;

L = Comprimento;

ν = Viscosidade cinemática do fluido;

α = Coeficiente de difusão de temperatura (difusividade térmica).

O Número de Grashoff (Gr) e o número de Prandtl(Pr) são respectivamente, relacionado com as forças de flutuação e de viscosidade, e também é usada para caracterização do fenômeno da convecção livre. O “ Pr ” é uma relação entre a difusão da quantidade de movimento das moléculas do fluido e da difusividade térmica do fluido (SOUZA, 2016).

2.2.2 Convecção Forçada

A convecção forçada é o modo preferido em aplicações industriais porque o fluxo de calor pode ser controlado alterando as características do fluxo forçado, especialmente o tipo e a velocidade do fluido. A convecção natural é utilizada como medida econômica, pois não

requer energia desde que o fluxo de calor obtido atenda aos requisitos do processo (PELLEGRINI, 2019).

Quando se fala em convecção forçada, primeiramente deve-se determinar de qual escoamento se trata, pode ser ele, laminar ou turbulento, para posteriormente utilizar a correlação apropriada de Nusselt (Nu), em função de Reynolds (Re), e Prandtl (Pr). Para isso o número de Reynolds deve ser calculado como mostra a equação abaixo (FRAGA, 2013):

$$Re = \frac{U_{\infty} \times L}{\nu} \quad (6)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds;

U_{∞} = Velocidade de referência;

De acordo com Fraga, (2013), quando o escoamento for Laminar e externo sobre uma placa o número de Reynolds crítico é considerado, $Re = 5 \times 10^5$. Depois de determinada a características e tipo do escoamento, a seguintes equações de Nusselt (Nu) devem ser utilizadas.

Para escoamento laminar considerar a equação a seguir:

$$Nu = 0,664 \times Re^{1/2} \times Pr^{1/3} \quad (7)$$

Quando se tratar de escoamento turbulento, utilizar a equação abaixo:

$$Nu = 0,0308 \times Re^{4/5} \times Pr^{1/3} \quad (8)$$

Dessa maneira a expressão básica que descreve o número de Nusselt, e também pode ser utilizada para calcular o coeficiente médio de transferência de calor por convecção (h_{conv}), isso quando o escoamento for induzido por um agente externo é:

$$Nu = \frac{h_{conv} \times L}{K} \quad (9)$$

2.3 Radiação

A radiação térmica é o modo de transferência de calor que pode ocorrer sem meio intermediário, esta é uma maneira que a natureza descobriu para equilibrar a diferença de temperatura de objetos separados por um vácuo. Qualquer objeto acima do valor zero absoluto emitirá radiação, que é atribuída à mudança na configuração eletrônica dos átomos ou moléculas do objeto, nesse caso, a energia é transmitida por ondas eletromagnéticas (ou fótons. A radiação térmica também ocorre entre objetos separados por intervenções, como ar menos eficiente porque o meio absorve, reflete e dispersa alguma energia (PELLEGRINI, 2019).

Todas as formas de matéria emitem energia, e sua transmissão ocorre na forma de ondas eletromagnéticas e não necessita de material para se propagar. A energia da radiação é função da temperatura do material, e esta radiação consiste em uma distribuição contínua e não uniforme de comprimentos de onda. Portanto, a radiação é espectral mente dependente; também é direcional, pois sua intensidade varia com a direção de emissão (GARCIA et al., 2017).

Segundo Oliveira (2018), quando a energia radiante atinge a superfície do corpo, ela é parcialmente absorvida, parcialmente refletida e parcialmente transmitida através do corpo. A parte absorvida aumenta a energia interna do corpo e aumenta sua temperatura. Portanto, neste caso, o mecanismo de transferência de calor não deve depender do meio material para se propagar, este fenômeno é denominado radiação térmica.

Para isso a transferência de calor por radiação tem algumas características importantes:

- a) Sua ocorrência independe do meio material;
- b) Sem atenuação no vácuo;
- c) A transferência de calor é mais rápida do que os fenômenos de condução e convecção;
- d) Pode existir em sólidos, líquidos e gases;
- e) Pode ocorrer entre dois objetos separados por um meio cuja temperatura seja inferior à temperatura do objeto (SOUZA, 2016).

2.3.1 Radiação do corpo negro

Segundo Souza (2016), objetos com temperatura superior a zero absoluto emitem radiação. Para objetos opacos, podemos pensar na emissão de radiação como um fenômeno de superfície, que provavelmente ocorrerá em todas as direções, sabe que quanto maior a temperatura corporal, maior a emissividade da radiação, no entanto, a quantidade de radiação emitida e absorvida também dependendo do material e da condição da superfície corporal. Portanto, mesmo na mesma temperatura, diferentes objetos emitem diferentes quantidades de radiação.

Um corpo negro é a idealização de um objeto que emite e absorve radiação perfeitamente. Um emissor perfeito significa que nenhum outro objeto pode emitir mais radiação do que um corpo negro a uma temperatura e comprimento de ondas específicas, por sua vez, um absorvedor perfeito significa que toda radiação incidente em um corpo negro é absorvida por ele (SOUZA, 2016).

A taxa de transferência de calor por unidade de área (W/m^2), ou seja, o fluxo de energia, que é emitido por uma superfície é conhecido como poder emissivo (E). O poder emissivo é determinado pela lei de Stefan-Boltzmann para um corpo negro (radiador ideal). Sendo assim, Quirino (2018), defini a lei de Stefan-Boltzmann da seguinte maneira: o poder emissivo (E) de um corpo negro (cn) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (T). Matematicamente, podemos expressar:

$$E_{cn} = \sigma \cdot T^4 \quad (10)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann (σ), é igual a aproximadamente $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ e T é a temperatura da superfície em Kelvin.

2.3.2 Radiação de corpos cinzentos

Radiação de corpos cinzentos ou também conhecidos por um corpo real, conforme diz Souza (2016), em um objeto real, a intensidade da radiação emitida em um determinado comprimento de onda é menor do que a intensidade da radiação emitida por um corpo negro e depende da emissividade do objeto para diferentes comprimentos de onda, portanto, para cada comprimento de onda um objeto real emite uma energia total menor do que um corpo negro na mesma temperatura.

Portanto, podemos definir um corpo cinza como um objeto com emissividade inferior a um. A energia emitida ou absorvida pelo corpo cinza é parte da energia emitida ou absorvida pelo corpo negro (SOUZA, 2016).

Segundo Quirino (2018), Para um corpo real, a energia emitida é dada por:

$$E = \epsilon \sigma \cdot T^4 \quad (11)$$

Onde:

E= Poder emissivo do corpo Cinzento;

ϵ = Emissividade;

σ = Constante de Stefan-Boltzmann;

T= Temperatura da superfície.

Em que a emissividade será a razão entre o poder emissivo real, e a emissividade do corpo negro (do corpo ideal) à mesma temperatura.

3 FUNCIONAMENTOS DA GARRAFA TÉRMICA

O funcionamento da garrafa térmica é baseado em um conjunto de conhecimentos físicos. Considerar este conhecimento é útil para a alfabetização científica dos cidadãos, evitando a rápida perda de energia térmica dos líquidos e mantenha a temperatura do seu corpo por mais tempo (SOUSA, 2017).

A energia também pode ser perdida através da radiação, um fenômeno que não requer um meio físico para propagar a energia, pois pode ocorrer até mesmo no vácuo. Portanto, as paredes da ampola são espelhadas para refletir ondas eletromagnéticas.

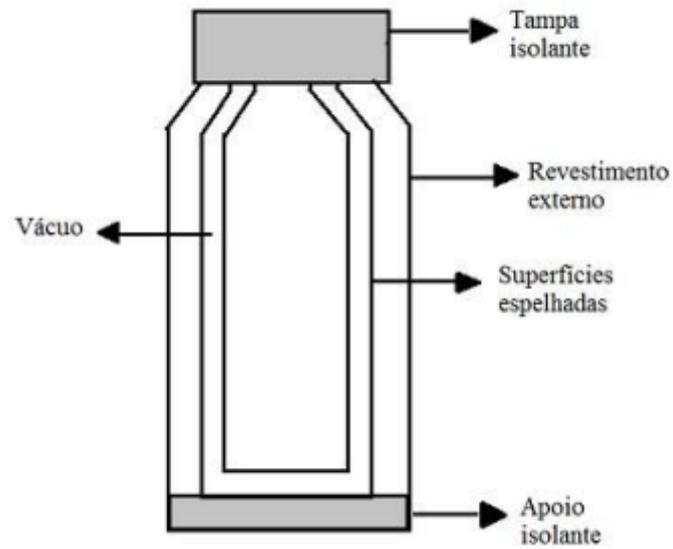
A transferência de calor está relacionada ao estudo de vários fenômenos que envolvem mudanças de temperatura na vida diária, fenômenos que indicam suas causas ou efeitos. Neste caso, este artigo enfoca o resfriamento com água fria em um copo térmico. Uma garrafa térmica é uma espécie de recipiente, que é feito de um corpo externo (tanque) ou de uma garrafa de diferentes materiais (como plástico, aço inoxidável), e o interior é composto por ampolas, que são pequenos tubos de vidro, plástico ou metal (geralmente de vidro). Essas garrafas são muito utilizadas no dia a dia das pessoas para proteger a temperatura das bebidas, quentes e frias, e possuem diferentes capacidades e diferentes sistemas de armazenamento (CAMPOS, 2020).

Também conhecida como Dewar, uma garrafa térmica é um dispositivo cujo objetivo principal é manter a temperatura de seu conteúdo quase constante pelo maior tempo possível. Portanto, as paredes do sistema são praticamente adiabáticas, ou seja, reduzem bastante a troca de calor entre seu conteúdo e o ambiente externo. O papel da garrafa térmica é dificultar a troca de calor de seu conteúdo com o ambiente externo. Deve ser construído de forma a evitar ao máximo a condução, convecção e radiação.

Isso é feito por alguns motivos:

- a) A parede interna é de vidro, pois é um condutor ruim, enfraquecendo a troca de calor por condução;
- b) A parede interna também é de dupla camada, separada por uma zona de vácuo, cuja função é tentar evitar a condução e convecção de calor através da parede de vidro;
- c) O vidro que compõe a parede interna da garrafa é espelhado, para que o calor radiante seja refletido, enfraquecendo assim a troca de radiação;
- d) A cobertura isolante também dificulta a condução. Para evitar uma possível troca de calor por convecção, mantenha a garrafa fechada. Desta forma, as substâncias do fluido interno não podem deixar o sistema (MARQUES; ARAUJO, 2009).

Figura 2: Interior da garrafa térmica



Fonte: TEIXEIRA (2022).

Obviamente, não existe um material de isolamento perfeito. Portanto, apesar das precauções acima, após certo período de tempo, o conteúdo da garrafa térmica acabará por atingir o equilíbrio térmico com o meio ambiente.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica por meio de artigos, livros e outros materiais acadêmicos que contém matérias sobre o estudo de recipientes térmicos, e os processos de transferência de calor. Foi feito um estudo de caso sobre um copo da marca Stanley®, desenvolvida uma análise sobre a manutenção da transferência de calor em relação ao tempo, colocando o objeto de estudo sobre experimento no laboratório do Unis de Varginha. Para o experimento foi colocado água no recipiente cheio e com o auxílio de termômetros que temos no laboratório, foi observado à mudança que ocorria de acordo com tempo, sendo feito três análise no laboratório, onde medido as leituras de 30 a 30 minutos para assim ter a idéia de quanto eficiente o copo estudado se trata, um dos fatores que foram considerados para esse estudo é a temperatura ambiente do laboratório, que varia de acordo com a mudança climática de cada dia, e pelo o laboratório utilizado não ser totalmente fechado, assim não evitando a entrada de ventos do ambiente exterior.

4.1 Dados do copo Stanley®

Para realização do experimento foi usado um copo da Marca Stanley®, conforme o quadro 2 abaixo mostra, foi usado um copo de aço inoxidável com capacidade de 473 ml, que para o experimento foi preenchido com água.

Quadro 2: dados do copo Stanley®

Descrição	Especificações
Tampa contra derramamento e sujeiras.	Capacidade: 473 ml
118ml extra para colarinho.	Peso: aproximadamente 0 330 kg
Parede dupla com isolamento a vácuo.	Comprimento: 9,60 cm
Gelada por 4,5h.	Largura: 9,60 cm
Não sua por fora.	Altura: 17,20 cm
Abridor de garrafa acoplado.	Tipo: Com tampa

Fonte: Adaptado de STANLEY (2022).

Abaixo uma imagem do Copo Stanley®, que foi utilizado em todos os ensaios feitos no laboratório.

Figura 3: Copo Stanley®



Fonte: O autor.

A imagem acima foi tirada no momento em que o primeiro ensaio estava sendo feito, pode-se visualizar os termômetros já sendo utilizados, para assim serem observadas e coletadas as informações necessárias.

4.2 Ensaios

Para o estudo de caso, foram realizados três ensaios de manutenção de calor do copo, no primeiro foi feito apenas com o copo Stanley®, para observar o acréscimo de temperatura em função do tempo, visto que o ideal é que acha o mínimo de acréscimo de temperatura possível, para isso usando apenas um termômetro dentro do líquido do copo e um para medir a temperatura ambiente do laboratório acontece. No segundo foi feito o mesmo processo do

primeiro com o acréscimo de um termômetro elétrico para avaliar a mudança de um para o outro. Agora no terceiro ensaio foi usado além do copo Stanley® utilizou outro copo de acrílico, colocando-o nos mesmos ambientes, as variações dos dois foram registradas, para que assim consiga ter com dados quantitativos a mudança e a eficiência deles. Todos os três ensaios foram feitos no laboratório do Unis e no período de tempo de três horas em cada ensaio, em seguida irei detalhar mais como foi feito cada ensaio.

4.2.1 Primeiro ensaio

O primeiro ensaio foi feito no dia 21 de março de 2022, no horário de aula à noite, tendo início às 19 horas e 20 minutos e término às 22 horas e 20 minutos. Para análise do primeiro ensaio como dito foi utilizado como corpo de prova o copo Stanley®, onde para começar os testes foram colocados 473 ml de água (copo cheio), a água utilizada foi do bebedouro do laboratório do Unis, depois de feito isso foi utilizado dois termômetros, ambos digital conhecido como termômetro digital em forma de caneta, onde um deles foi usado para medir a temperatura ambiente, o outro foi colocado dentro da água para a medição dele possa ser feita. As medições foram registradas a cada 30 minutos como a tabela 1 mostra. Onde no início a água do copo foi colocada a temperatura de 4,4 graus Celsius e após o término do ensaio que foi depois de três horas a temperatura do líquido foi medido a 15,5 graus Celsius, dando então a variação de 11,1 graus Celsius durante as três horas.

Horário	Temperatura do copo (°)	Temperatura ambiente (°)
19:20	4,4	24
19:50	6,5	24,2
20:20	8,7	24
20:50	10,7	24,1
21:20	12,5	23,8
21:50	14,2	23,7
22:20	15,5	23,7
Tempo total: 3 hs	Variação de temperatura do copo: 11,1	

Fonte: O Autor.

4.2.2 Segundo ensaio

O segundo teste foi feito no dia 28 de março de 2022. Para a segunda análise foram feitos os mesmos procedimentos da primeira, porém houve o acréscimo de mais termômetro colocado para medir a temperatura da água, esse termômetro digital que colocando um cabo dentro do líquido se consegue as medições, abaixo uma imagem deste termômetro.

Figura 4: Termômetro digital



Fonte: O autor.

As medições também foram feitas a cada 30 minutos como podem ser visualizadas na tabela 2. Para esse teste as variações do copo foram de 12,2 graus Celsius para o copo medido pelo termômetro digital em forma de caneta, e de 12 graus Celsius para o outro. O que mostra pouca mudança de leitura entre eles.

Tabela 2: Segundo ensaio			
Horário	Temperatura do copo (°)	Temperatura do copo 2 (°)	Temperatura ambiente (°)
19:20	4,6	4,3	27,2
19:50	7,1	6,9	26,9
20:20	8,7	8,7	26,7
20:50	11,3	11	26,5
21:20	13,2	13,2	26,3
21:50	15,6	15	25,8
22:20	16,8	16,3	25,2
Tempo total: 3 hs	Varição de temperatura do copo: 12,2	Varição de temperatura do copo 2: 12	

Fonte: O autor.

4.2.3 Terceiro ensaio

O terceiro ensaio foi realizado no dia 11 de abril de 2022. Diferentemente das duas análises feita anteriormente, para esse ensaio foi usado além do copo Stanley®, um copo feito de acrílico, ilustrado na imagem abaixo, com capacidade de 473 ml.

Figura 5: Copo acrílico



Fonte: O autor.

Colocado o copo com a mesma quantidade de água do copo Stanley®, foram efetuados todos os procedimentos novamente, com o intuito de avaliar as diferentes mudanças de temperatura dos dois quando colocado nas mesmas condições, para assim conseguir visualizar com dados qual é mais eficiente e o quanto mais eficiente é, como pode ser visto na Tabela 3.

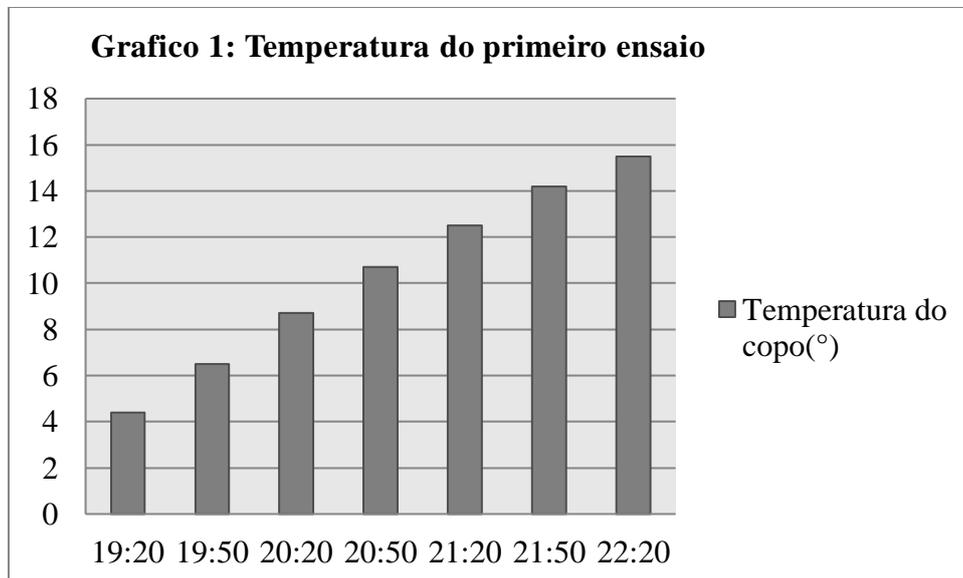
Horário	Temperatura do copo (°)	Temperatura do copo 2 (°)	Temperatura do copo de acrílico (°)	Temperatura ambiente (°)
19:20	6	6	6,1	27,1
19:50	8,1	8,2	10,8	26,6
20:20	10,4	10,4	15,2	26,7
20:50	12,1	11,9	17,4	26,5
21:20	14,3	14,1	19,6	26,3
21:50	16,1	15,5	21,3	26,2
22:20	17,5	17,1	23,6	26,3
Tempo total: 3hs	Varição de Temperatura do copo: 11,5	Varição de temperatura do copo 2: 11,1	Varição de temperatura do copo acrílico 17,5	

Fonte: O autor.

De acordo com os dados coletados podem-se observar as mudanças dos copos. A temperatura do copo acrílico inicialmente foi de 6,1 graus Celsius e ao final do teste foi medido uma temperatura de 23,6 graus Celsius, então a variação do copo de acrílico foi de 17,5 graus Celsius, uma eficiência inferior do copo Stanley®, visto que considerando tanto a medição feita pelo primeiro termômetro quanto o outro, ambas foram melhores em questão de mudança de temperatura, dando medições superiores na eficiência da manutenção de calor. Onde a menor variação do copo Stanley® foi de 11,1 graus Celsius, uma eficiência de 6,4 graus Celsius comparado com o do copo acrílico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

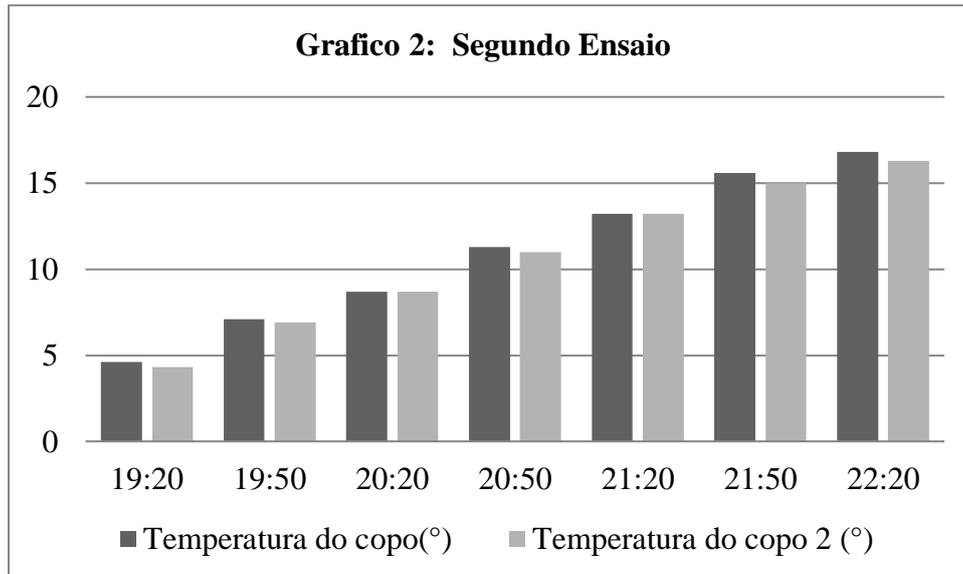
Com o objetivo de demonstrar os resultados obtidos pelos ensaios citados anteriormente. Para assim poder ser feita uma análise crítica em cima dos dados quantitativos coletados pelos testes, utilizando como parâmetros principais, a temperatura do meio ambiente e as mudanças de temperatura que ocorreram nos três ensaios. Analisando apenas o primeiro ensaio temos a mudança do copo Stanley® logo abaixo no gráfico 1, considerando a temperatura ambiente em aproximadamente 24 graus Celsius.



Fonte: O autor.

No primeiro ensaio foi utilizado apenas um termômetro, e sua variação foi praticamente linear, variando cerca de 2 graus Celsius de aumento de temperatura a cada meia hora, que foi o tempo em que as medições foram executadas.

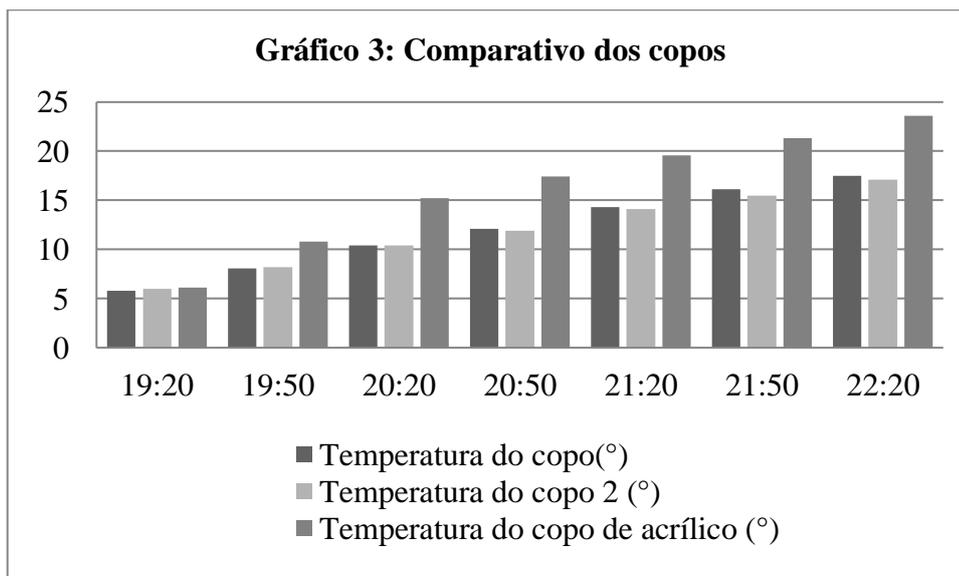
No segundo ensaio foram utilizados dois termômetros para ser feito a análise no copo Stanley®, como podemos ver no gráfico 2 a variação em que o primeiro, em que a temperatura ambiente do laboratório estava em aproximadamente 26 graus Celsius.



Fonte: O autor.

Como mostra o gráfico acima se pode notar que as mudanças de variação das medições tiveram poucas mudanças, isto se dá por serem feitas as duas no mesmo líquido porem com termômetros diferentes.

No ensaio 3, no qual foi feito um comparativo onde duas medições são do copo que foram feitas no copo Stanley® e a terceira medição feita no copo de acrílico, consideradas as mesmas condições em ambas.



Fonte: O autor.

O copo no qual o estudo foi baseado apresentou uma eficiência melhor durante as três horas que os ensaios duraram. Isso pode ser visto no gráfico 3, que é um comparativo que mostra que o copo de acrílico tem um aumento de temperatura sempre maior de graus Celsius do que o do copo Stanley®, em todas os momentos de medição. Podemos então projetar que quanto maior for o tempo de análise maior essa diferença de temperatura tende a se distanciar.

6 CONCLUSÃO

De acordo com tudo que foi apresentado foi possível concluir que por se tratar de um copo ainda novo na nossa região, o copo Stanley® pode ser muito explorado ainda futuramente. Conforme apresentado na pesquisa bibliográfica da monografia, os copos, garrafas e entre outros produtos similares, ocorrem o processo de transferência de calor por condução, convecção e radiação, a fim de evitar que a perda de sua temperatura aconteça que no caso do experimento era que houvesse o mínimo de aumento de temperatura possível, para assim manter o líquido frio. Partindo desse princípio a metodologia buscou fazer uma coleta de dados para comprovar sua eficiência durante um período de tempo pré-determinado.

Os resultados dos testes feitos foram considerados satisfatórios, levando em consideração que a água utilizada foi em torno de 5 graus Celsius, não foram temperaturas muito geladas e a temperatura do meio ambiente estava em torno de 26 graus Celsius. Mesmo assim teve um aproveitamento consideravelmente melhor do que o copo de acrílico em aproximadamente 6 graus Celsius, então sempre deixando claras as variações externas que foram feitos os testes, e que isso pode mudar de acordo com as condições que o copo pode ser submetido, e a troca de calor, seja por fatores externos do copo ou fatores do tipo de líquido que seja analisado, visto que o acréscimo de temperatura que a água teve, foi menor quando comparado com um copo de acrílico. Prova que no caso o copo térmico Stanley®, conseguiu evitar que a troca de calor de seu conteúdo com o ambiente externo fosse menor do que o copo feito de acrílico.

Isso pode ser visto no gráfico 3, que é um comparativo que mostra que o copo de acrílico tem um aumento de temperatura sempre maior de graus Celsius do que o do copo Stanley®, em todas os momentos de medição. Podemos então projetar que quanto maior for o tempo de análise maior essa diferença de temperatura tende a se distanciar.

REFERÊNCIAS

- ALENCASTRO, JocarliItamirã Duarte. **Metodologia para análise do coeficiente de transferência de calor em superfícies corrugadas sob jatos**. 2015, 156 f. Tese para a obtenção do título de Doutor.- Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Disponível em: <<http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/7096>> Acessado em: 02 de out. 2021.
- CAMPOS, D. R. S., CAMPOS, I. F. de A. (2020). **Avaliação dos aspectos da usabilidade no uso de garrafas térmicas: Uma experiência de uso do SUS pictórico**. *Revista Triades*, 2(9). Disponível em: <<https://triades.emnuvens.com.br/triades/article/view/302>> Acesso em: 30 out. 2021.
- FRAGA, Felipe Ferreira. **Estudo numérico e experimental dos processos de transferência de calor em prototipagem rápida por soldagem a arco**. 2013 118 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de Brasília faculdade de tecnologia de departamento de engenharia, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/15111>>. Acesso em: 4 out. 2021.
- GARCIA, R. L, et al. Resfriamento de um cilindro de aço: estudo experimental da convecção e radiação do calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.1, n.4, mar. /abr. 2017.
- MALATEAUX, Ezequiel Costa. **Análise numérica da transferência de calor de um cilindro horizontal isotérmico isolado excêntrica por convecção natural e radiação**. 2013 197 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/263415>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- MARQUES, Nelson L. R.; ARAÚJO, Ives S. **Física térmica. In Textos de apoio ao professor de Física**. 2009. UFRGS - Instituto de Física, Porto Alegre, v. 20, n. 5, 2009. 73 p.
- MARTINS, Francisco Jorge Alvim. **Análise e otimização térmica de um sistema de aquecimento em moldação de compressão a quente**. 2016. Dissertação de Mestrado – Faculdade de engenharia universidade do porto, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/9605/1/000482299-Texto%2BCompleto-0.pdf>> Acesso em: 30 out. 2021.
- MELLO, Paula Vieira. **Influência do parâmetro rugosidade na transferência de calor em juntas coladas**. 2016. Dissertação de Mestrado - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ. Disponível em:<http://dippg.cefet.rj.br/ppemm/attachments/article/81/63_Paula%20Vieira%20de%20Mello.pdf>. Acesso em: 11 out. 2021.
- OLIVEIRA, Emanuel Romário. **Uma proposta de sequência didática em website para o ensino de transferência de calor**. 2018. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3961>>. Acesso em: 21 out. 2021.

PELLEGRINI, Cláudio de Castro. **A busca pelo copo ideal: um estudo de otimização em transferência de calor.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 3, 2019.

Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbef/a/9jLNgjK6FC8bKvd7WTHwFmR/?format=pdf&lang=pt>>.

Acesso em: 06 out. 2021.

SOUSA, Lays Figueiredo. **Aplicações dos conceitos da física no cotidiano.** 2017. 13 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Naturais)—Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2017. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/19580>> Acesso em: 03 out. 2021.

SOUZA, Jeferson Afonso Lopes (Org.). **Transferência de calor.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

STANLEY, **Site oficial.** Disponível em: <<https://www.stanley-pmi.com.br/>>. Acesso em: 10 mar.2022.

TEIXEIRA, Mariana Mendes. **Garrafa Térmica. Alunos Online.** 2022. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica>>. Acesso em: 20 mai.2022.

VECCHIA, Leonardo Casagrande Dalla. **Estudo da transferência de calor de nano fluidos submetidos à convecção natural em uma cavidade.**2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2019, Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214320>>. Acesso em; 15 out. 2021