

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL-UERGS
UNIDADE GUAÍBA
PPGSTEM

RAFAEL PEREIRA GONÇALVES

PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ESTUDO EXPERIMENTAL DA
RADIAÇÃO DE CALOR COM EMPREGO DE DISCOS METÁLICOS: GUIA DE
APLICAÇÃO



Guaíba
2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

G635p Gonçalves, Rafael Pereira.

Produto educacional para o estudo experimental da radiação de calor com emprego de discos metálicos: guia de aplicação / Rafael Pereira Gonçalves. - Guaíba/RS, 2024.

42 f. : il.

Orientador: Prof.º Dr.º Renato Letizia Garcia.

Produto Educacional (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Mestrado Profissional em Docência para Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática, Unidade Universitária em Guaíba, 2024.

1. Recurso didático. 2. Aprendizagem significativa. 3. Ensino de transferência de calor. 4. Radiação. 5. Corpos negros. 6. STEM. I. Garcia, Renato Letizia. II. Título.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	4
2. INTRODUÇÃO.....	5
3. EXPERIMENTO DIDÁTICO.....	5
3.1 CONFECCÃO.....	6
3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	7
4. ATIVIDADES	11
4.1 FLUXO DE APLICAÇÃO.....	12
APÊNDICES.....	13

1. APRESENTAÇÃO

O Guia de aplicação faz parte do trabalho intitulado PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ESTUDO EXPERIMENTAL DA RADIAÇÃO DE CALOR COM EMPREGO DE DISCOS METÁLICOS, parte do trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Formação Docente para Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática, tal é ofertado na unidade de Guaíba – RS.

Foi desenvolvido, construído e validado um protótipo para o ensino de transferência de calor no ensino superior, para aplicação em uma aula experimental, com objetivo de aplicação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, tal material elaborado visa o ensino aplicando metodologia ativa e a análise qualitativa do conteúdo aprendido, especificamente na disciplina de fenômenos de transporte II, é um guia de aplicação para o ensino deste fenômeno, podendo o protótipo servir como exemplo para replicação de baixo custo, mas como foco principal o roteiro o material didático desenvolvido para avaliação e aplicação em uma aula experimental.

O material a seguir está separado em duas etapas, a construção do experimento, contendo dicas e matérias de fabricação e a segunda, atividades aplicadas ao estudo, questionários e Ficha de aplicação.

2. INTRODUÇÃO

O presente trabalho se concentrou na criação de um produto educacional para o ensino de transferência de calor por radiação, para tal foi utilizado como forma geométrica a aplicação em discos coaxiais sendo cada disco um corpo negro, voltado para o estudo experimental da transferência de calor, através de radiação de placas metálicas. A concepção desse experimento tem como base a ideia de tornar os ensaios acessíveis e práticos, eliminando assim a necessidade de adquirir equipamentos dispendiosos que normalmente envolvem um processo de aquisição institucional com custos financeiros e trâmites burocráticos, tornando a oferta dessa experiência de aprendizado experimental mais acessível e eficaz.

O produto educacional resultante deste estudo visa proporcionar uma abordagem significativa e acessível para o ensino da transferência de calor através da radiação. Ao simplificar a execução dos ensaios e minimizar os custos envolvidos, o propósito é promover a adoção desse experimento em ambientes educacionais ou incentivar a experimentação em cursos de graduação, permitindo que professores e estudantes explorem de forma prática e eficaz os princípios fundamentais da transferência de calor por radiação. Dessa forma, busca-se enriquecer o processo de aprendizado e tornar o estudo deste importante conceito da física mais acessível e envolvente. O produto educacional resultante é classificado em PPT1 – material didático/instrucional de acordo com anexo V da CAPES.

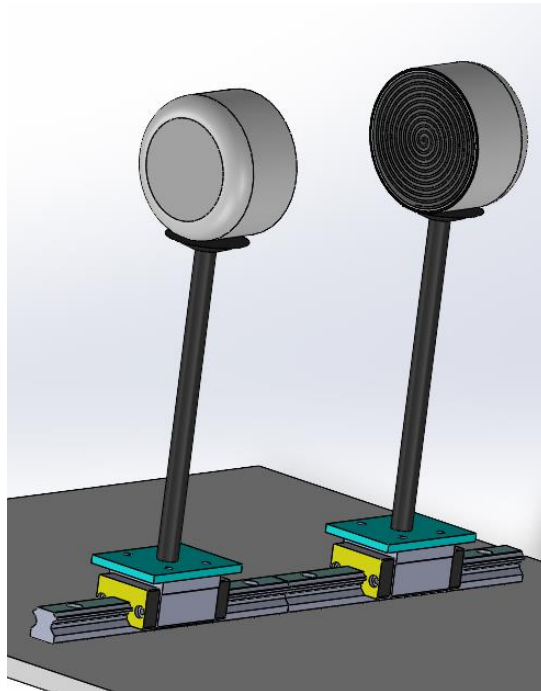
A sequência, a segunda etapa a ser realizada, se tratará de uma aula experimental e como resultado tratará dados os dados de maneira qualitativa, pois visa entender a compreensão dos alunos perante o conteúdo exposto e o entendimento da situação problema destacada na introdução. A aula experimental acontecerá em um encontro da disciplina de Fenômenos de Transporte II – Transferência de Calor e Massa.

3. EXPERIMENTO DIDÁTICO

O experimento didático consiste na criação de um equipamento para ensino, de baixo custo, desenvolvido para realizar ensaios experimentais, visando auxiliar no estudo de fenômenos de transporte II, cálculos de taxa de transferência de calor por radiação e convecção, bem como o balanço térmico de um sistema físico real. Consiste em uma placa fria que após exposição à radiação por determinada taxa de tempo, será possível realizar o balanço térmico teórico, e comparar com o resultado experimental. O equipamento pode ser descrito resumidamente como dois discos metálicos totalmente celestes, sendo um dos discos o emissor de radiação e o outro disco o receptor dessa

radiação, esses discos estarão montados em um conjunto mecânico, no qual será possível alterar e movimentar a distância entre os discos. Haverá um controlador de temperatura, responsável por controlar a temperatura da placa emissora e sensores de temperatura, o experimento também contará com instrumentos de medição indireta, tal como câmera termográfica, paquímetro, pirômetro e sensor de temperatura ambiente, variáveis que estarão presentes nos ensaios experimentais, como é possível ver na modelagem realizada em software CAD, apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Modelagem do objeto de aprendizagem



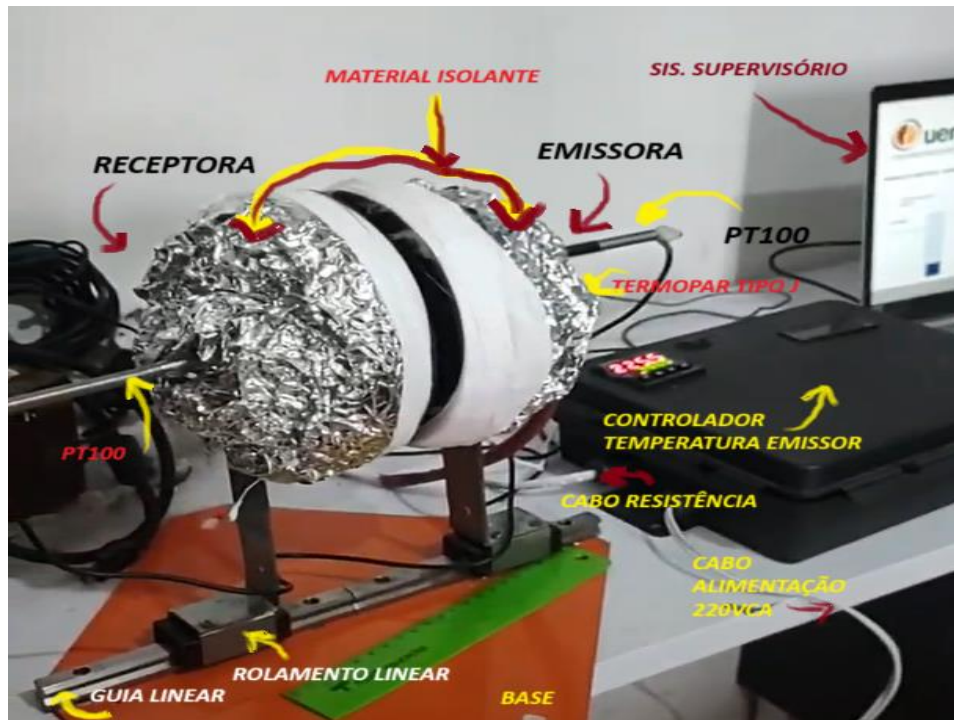
Fonte: Autor (2024).

3.1 CONFECCÃO

O Equipamento consiste em duas placas em formatos de discos, foram utilizadas duas resistências de fogões elétricos com cerca de 1500 W em 220V, ambas são construídas em ferro fundido, com cor totalmente negra, como placa emissora e receptora, ambas com diâmetro de 300 mm x 2,5mm de espessura, e 636g de massa. Para o recolhimento de dados de temperatura foram utilizados sensores de medição indireta, sendo eles uma câmera termográfica do modelo flir tg165, um pirômetro, um paquímetro e um termômetro digital ambiente. O experimento conta com duas bases móveis para conseguir trabalhar a constante de distância do modelo matemático, assim trabalhando diferentes fatores de forma, para realização de tal feito ambas as placas ficarão fixadas em rolamentos lineares com movimentação sobre guias lineares e irá variar de 5 cm a 50 cm. Projetada em madeira cujo tamanho medirá 80 cm por 80 cm, um controlador de temperatura ajustará a temperatura da placa emissora, para tal será utilizado um contator para acionamento da carga (resistência), esses foram devidamente dimensionados para suportar a corrente da resistência,

que irá demandar, aproximadamente sete amperes de corrente elétrica, a Figura 2 ilustra as primeiras configurações do protótipo.

Figura 2 - Objeto de aprendizagem montado na fase de testes



Fonte: Autor (2024).

3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

A medição através de instrumentos, um dos mais significativos e importantes instrumentos é a câmera termográfica, neste trabalho foi utilizada a câmera flir modelo tg165, a escolha se deve pela rápida resposta de processamento, mira a laser, ajustes de emissividade que facilitam nas medições necessárias do experimento, não apresenta a necessidade de calibrações entre medidas, algo que acaba sendo crucial na escolha da câmera, além de ótima precisão em suas medidas, possibilidade de configurações de emissividade e gatilho para a captura do ponto de medição, se adequa de maneira satisfatória ao experimento, conforme é possível visualizar na Figura 3.

Figura 3 - Câmera termográfica flir tg165



Fonte: Flir (2024).

Foi utilizado um termômetro digital para garantir as medidas de temperatura ambiente, para isso foi utilizado termômetro digital Minipa (MV-370) sendo um dispositivo de medição de temperatura de alta precisão, amplamente utilizado em ambientes industriais e laboratoriais. Equipado com visor digital de cristal líquido (LCD), o aparelho opera em uma faixa de temperatura de -50°C a 150°C, com resolução de 1°C e precisão ($\pm 0,3\% + 1^\circ\text{C}$) para leituras abaixo de 150°C. Além disso, o MV-370 possui suporte a termopares do tipo K, o que permite medições rápidas e estáveis. O dispositivo é uma ferramenta prática e confiável para diversas aplicações de monitoramento térmico, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Termômetro usado para medir temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2024).

Além dos dois sensores de coleta descritos acima, outro sensor foi fundamental na realização dos ensaios, até mesmo para modo de comparação, o termômetro infravermelho (Minipa MT-350) essencial para a medição de temperatura sem contato, sendo especialmente eficaz na avaliação de discos metálicos emissores e receptores de radiação. Apresenta um tempo de resposta rápido (300ms) e indicação automática de polaridade, facilitando a operação em condições variáveis. A faixa de medição do MT-350 varia de -30°C a 550°C , com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ na faixa de -30°C a 100°C e $\pm 2\%$ da leitura para temperaturas superiores, garantindo confiabilidade nas medições de superfícies metálicas, a configuração de emissividade do equipamento, que é possível de ser ajustada, assim como a câmera termográfica, conforme ilustra a Figura 5, é possível visualizar o sensor utilizado.

Figura 5 - Termômetro infravermelho usado para medir radiação de calor.



Fonte: Autor (2024).

Outro instrumento utilizado na construção do recurso e na aplicação de ensaios, essencial para configuração exata da distância dos disco, assim alterando o fator de forma e implicando diretamente nos resultados, como a medida de largura e espessura, fundamental para obtenção do C_p do disco metálico é o paquímetro. O utilizado foi do tipo universal, é um instrumento de medição preciso, projetado para realizar medições internas, externas e de profundidade com alta confiabilidade. Com uma capacidade de medição de até 150 mm e resolução de 0,05 mm, esse paquímetro é ideal para aplicações em oficinas e laboratórios, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Paquímetro utilizado para medir distâncias de ensaios.



Fonte: Autor (2024).

4. ATIVIDADES

Baseado em Sauer (2021), aplicado inicialmente um questionário prévio de 19 questões utilizando a ferramenta google forms, em que esses dados serão recebidos e após tratados em um banco de dados (google sheets), o objetivo desse questionário é ativar os subsunçores dos alunos uma vez que terão o primeiro confronto ao buscar seus conhecimentos prévios. Será dado um prazo para resolução do questionário de aproximadamente uma semana, para que todos consigam responder sem prejudicar a rotina acadêmica, os assuntos que serão tratados nestes questionários são de extrema importância para relevância do produto, pois todos os termos abordados estão relacionados com o experimento, são eles:

- a) conceitos de transferência de calor;
- b) Mecanismos de transferência de calor;
- c) Princípios e fundamentos da transferência de calor, parâmetros físicos e equações;
- d) princípios de transferência de calor por radiação e conceitos de radiação.

Após essa aplicação será apresentado o material da aula experimental, que conta com rotinas a serem realizadas na aula experimental, essas rotinas serão disponibilizadas em vídeo, o qual pode ser acessado pelo endereço eletrônico: <https://www.youtube.com/watch?v=Hq6RxtCWjE&t=225s>.

No vídeo é abordada a metodologia de cálculo para aula experimental, a explicação sobre o experimento, bem como explicações detalhadas da utilização das planilhas, A apresentação será concluída com uma sessão de questionamentos e será estruturada com um formulário para facilitar o entendimento do experimento e das variáveis envolvidas. O processo de experimentação será explicado de forma interativa e didática, utilizando recursos digitais e um vídeo, que servirá como complemento ao material. A última etapa das atividades contará com a aula experimental presencial no campus central, no laboratório disponibilizado pela unidade, utilizando o recurso de fato, com 4 horas de duração, no período da tarde (13:15 às 17:15), com 15 min de intervalo, visa-se a aplicação do experimento de uma maneira significativa, em que antes da aplicação do experimento, entendendo que os alunos tiveram o recebimento de todas as informações das etapas anteriores, eles deverão desenvolver uma tese do que acontecerá na aplicação prática do experimento, ou seja, será entregue um novo formulário impresso que servirá como guia da atividade prática e da atividade teórica, logo os alunos terão um tempo para desenvolver a sua tese e cálculos solicitados da matéria aprendida, com recursos de software ou não. Após esse período o experimento acontecerá em que será possível o desenvolvimento da antítese ancorada na teoria de Ausubel sobre a aprendizagem significativa, ou seja, a comparação com os cálculos teóricos e absolutos, logo ao final será disponibilizado um questionário online (google forms) sobre a satisfação e por fim, um último

questionário de nível mais avançado da disciplina, a motivação destas perguntas é realmente absorver questões importantes de satisfação e significado.

4.1 FLUXO DE APLICAÇÃO

Esta seção visa de maneira mais lúdica orientar sobre a sequência de aplicação das atividades, considerando que o protótipo para aula experimental está concluído, conforme figura 7.

Figura 7 – Infográfico de aplicação



Fonte: Autor (2024).

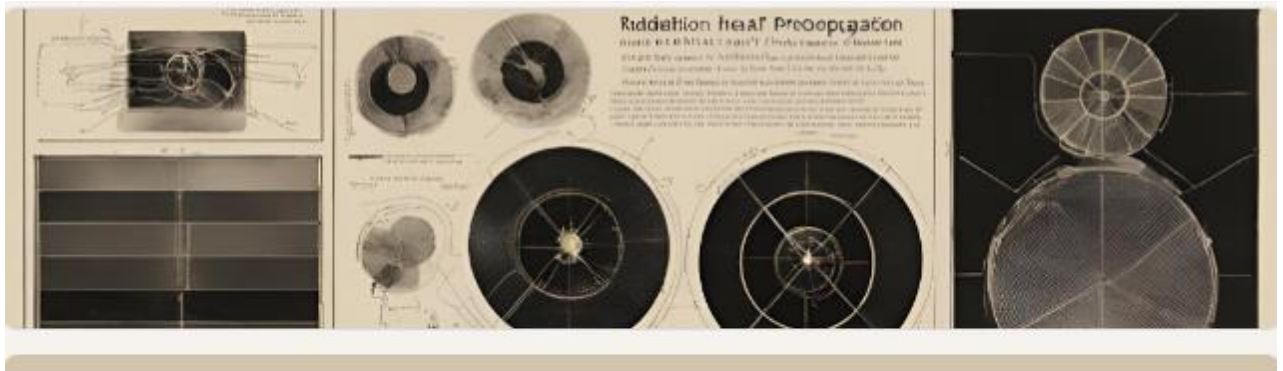
Os itens do infográfico 1, 2, 3 e 4 são:

- Questionário prévio;
- Aula experimental;
- Questionário de satisfação;
- Questionário final.

Encontram-se nos apêndices I, II, III e IV.

APÊNDICES

Apêndice I – Questionário prévio



Questionário prévio sobre transferência de calor por radiação

Questionário que será utilizado como base de dados do conhecimento prévio sobre o conteúdo antes da aplicação do experimento físico. O questionário conta com 19 perguntas de múltipla escolha, é fundamental para esta pesquisa que as respostas sejam respondidas sem auxílio.

Esse questionário faz parte da pesquisa do programa de mestrado em STEM UERGS UNIDADE GUAÍBA onde sua participação é fundamental.

Mestrando: Rafael Pereira Gonçalves. Orientador: Renato Letizia Garcia

Observações sobre o questionário:

O questionário é respondido com seu consentimento, logo se houver questões que você não queira responder haverá, opção "prefiro não responder" ou deixa-la em branco.

Observação:

Quando não houver a opção de "prefiro não responder" você pode optar por deixar a questão em branco.

Graduação

- ☐ Engenharia de energia
- ☐ Engenharia de controle e automação
- ☐ Engenharia de bioprocessos e biotecnologia
- ☐ prefiro não responder
- ☐ Outro: _____

Semestre

Sua resposta

Qual cadeira que está cursando ou levou você até este questionário?

Sua resposta

Perguntas Gerais sobre Radiação - Parâmetros e constantes

Todas as questões apresentam somente uma alternativa correta, à exceção das questões 17 e 18.

1) O símbolo **w** representa:

- ☐ a) Unidade de tensão elétrica.
- ☐ b) Unidade de corrente elétrica.
- ☐ c) Unidade de potência térmica ou elétrica.
- ☐ d) Unidade de energia térmica.
- ☐ e) Unidade de energia elétrica.
- ☐ f) prefiro não responder

2) O que é radiação eletromagnética?

- ☐ a) Uma forma de energia que se propaga apenas em meios sólidos.
- ☐ b) Uma forma de energia que se propaga em meios, sólidos, líquidos e gasosos mas não se propaga no vácuo..
- ☐ c) Uma forma de energia que se propaga inclusive na ausência de um meio material.
- ☐ d) Uma forma de energia que se propaga apenas em meios gasosos.
- ☐ e) Uma forma de energia que se propaga somente em altas temperaturas.
- ☐ f) Uma forma de energia que se propaga somente em baixas temperaturas.
- ☐ g) prefiro não responder

3) Qual é o processo fundamental que causa a emissão de radiação eletromagnética?

- ☐ a) Convecção de partículas carregadas em um campo magnético.
 - ☐ b) Fusão nuclear de átomos pesados.
 - ☐ c) Dispersão de ondas sonoras em um meio sólido.
 - ☐ d) Oscilação de um campo elétrico.
 - ☐ e) Colisão de partículas subatômicas de alta energia.
 - ☐ f) prefiro não responder
-

4) Qual destas **não** é uma onda eletromagnética?

- ☐ a) Luz visível
- ☐ b) Ondas de rádio FM
- ☐ c) Ondas sonoras
- ☐ d) Ondas de micro-ondas
- ☐ e) Ondas de raios X
- ☐ f) Ultravioleta
- ☐ g) Radiação gama
- ☐ h) prefiro não responder

5) O que é um corpo negro teórico perfeito na física?

- ☐ a) Um objeto que reflete toda a luz incidente sobre ele.
- ☐ b) Um objeto que absorve e emite a mínima radiação possível em todos os comprimentos de onda.
- ☐ c) Um objeto que não interage com nenhuma forma de radiação eletromagnética.
- ☐ d) Um objeto que absorve toda a radiação eletromagnética incidente sobre ele e não emite nenhuma radiação.
- ☐ e) Um objeto que absorve toda a radiação incidente sobre ele e emite a máxima radiação possível.
- ☐ f) prefiro não responder

6) Qual destas é a unidade de medida utilizada para indicar uma temperatura absoluta no SI (sistema internacional de unidades).

- ☐ a) °C
- ☐ b) °F
- ☐ c) °R
- ☐ d) R
- ☐ e) K
- ☐ f) °K
- ☐ g) prefiro não responder

7) A equação: $Q=m.cp.\Delta T$

- ☐ a) É utilizada para calcular a quantidade de calor necessária para promover uma mudança de estado físico.
 - ☐ b) É utilizada para calcular o calor envolvido no aquecimento ou resfriamento de um corpo.
 - ☐ c) Indica o calor latente associado a uma mudança de fase de um corpo.
 - ☐ d) Indica o calor associado ao aquecimento ou resfriamento de um gás ideal a volume constante.
 - ☐ e) prefiro não responder
-

8) Sabendo que a quantidade de calor "Q" transferida é dada em joule (j), analise as seguintes afirmações:

- ☐ a) 1 joule (J) corresponde a 1 watt por segundo (W/s).
- ☐ b) 1 joule (J) corresponde a 1 watt . segundo (W.s).
- ☐ c) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt . segundo (kW.s).
- ☐ d) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt . hora (kW.h).
- ☐ e) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt por hora (kW/h).
- ☐ f) prefiro não responder
- ☐ Outro: _____

9) Qual é a diferença entre temperatura e calor?

- ☐ a) A temperatura é a quantidade de energia térmica de um objeto, enquanto o calor é a medida do grau de agitação.
- ☐ b) A temperatura é a medida do grau de agitação das partículas de um objeto, enquanto o calor é uma forma de energia transferida entre dois corpos.
- ☐ c) A temperatura é a medida da energia térmica total de um objeto, enquanto o calor é a medida da temperatura em uma escala específica.
- ☐ d) A temperatura é a medida da quantidade de calor que um objeto contém, enquanto o calor é a medida da temperatura ambiente.
- ☐ e) A temperatura é a medida da velocidade das partículas em um objeto, enquanto o calor é a medida da intensidade da corrente térmica.
- ☐ f) prefiro não responder

Questões específicas sobre transferência de calor por radiação

10) A equação da Lei de Stefan-Boltzmann descreve a potência radiada por um corpo negro em função de sua temperatura. A fórmula é: $P = \sigma \epsilon A T^4$, qual é o valor aproximado da constante de Stefan-Boltzmann, que descreve a relação entre a potência radiada por um corpo negro e sua temperatura absoluta?

- ☐ a) $6.67 \times 10^{-11} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ☐ b) $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ☐ c) $1.34 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- ☐ d) $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- ☐ e) prefiro não responder

11) A transferência de calor por radiação:

- ☐ a) Ocorre somente em temperaturas elevadas.
- ☐ b) Entre dois corpos somente ocorre quando há diferença de temperatura entre eles, e numa taxa que é diretamente proporcional a essa diferença de temperatura.
- ☐ c) Em um objeto sólido exposto ao ar é desprezível frente a transferência de calor por convecção, e se torna significativa apenas quando a temperatura deste objeto for da ordem de 500K.
- ☐ d) Entre dois corpos é diretamente proporcional à diferença entre suas temperaturas absolutas elevadas à quarta potência.
- ☐ e) Entre dois corpos é diretamente proporcional à diferença de suas temperaturas relativas elevadas à quinta potência.
- ☐ f) prefiro não responder

12) O que é a taxa de transferência de calor ?

- ☐ a) A quantidade de energia térmica transferida entre dois corpos sólidos.
 - ☐ b) A quantidade de calor transferida por unidade de área entre um objeto e o ar ambiente.
 - ☐ c) A quantidade de calor transferida por unidade de tempo, seja por condução, radiação ou convecção.
 - ☐ d) A quantidade de energia térmica transferida por unidade de temperatura em um sistema fechado.
 - ☐ e) A quantidade de calor por unidade de massa que é transferida entre dois corpos.
 - ☐ f) prefiro não responder
-

13) Analise as sentenças:

- ☐ a) Na superfície exposta de um disco solido ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelo mecanismo de convecção.
 - ☐ b) Na superfície exposta de um disco solido ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelos mecanismos de convecção e condução.
 - ☐ c) Na superfície exposta de um disco solido ao ar ambiente, o calor é transferido para o ar ambiente pelos mecanismos de convecção e radiação.
 - ☐ d) Na superfície exposta de um disco solido ao ar ambiente, o calor é transferido para o ar ambiente apenas pelo mecanismo condução.
 - ☐ e) prefiro não responder
-

14) na equação da Lei de Stefan-Boltzmann $P = \sigma \epsilon A T^4$, " ϵ " é:

- ☐ a) O coeficiente de emissividade, que pode variar de -1 a +1.
- ☐ b) O coeficiente de película, que aumenta com a temperatura absoluta da superfície radiante.
- ☐ c) O coeficiente de emissividade, que pode variar entre 0 e 1 e representa a eficiência com que um corpo emite radiação térmica em comparação com um corpo negro ideal.
- ☐ d) O coeficiente de película, cujo valor é próximo de 1 para superfícies lisas e brilhosas, e igual a zero para um corpo negro ideal.
- ☐ e) A temperatura na qual um corpo começa a emitir radiação térmica.
- ☐ f) prefiro não responder

15) A equação abaixo o refere-se ao aquecimento de um objeto sólido, por radiação e convecção, durante um intervalo de tempo fixado:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{rad}} + Q_{\text{conv}}$$

Assinale as sentenças:

- I. Q_{rad} é o produto da taxa de transferência de calor por radiação pelo por intervalo de tempo fixado.
- II. Q_{total} pode ser calculado como o produto do calor específico pela massa do objeto e pela sua variação de temperatura neste intervalo.
- III. Q_{conv} é proporcional ao coeficiente de emissividade do objeto sólido.
- IV. Q_{conv} é proporcional à diferença entre a temperatura do objeto sólido e do ar ambiente.
- V. Q_{rad} é proporcional ao coeficiente de película na interface entre o sólido e o ar.

- ☐ a) I, III, e IV estão corretas.
- ☐ b) todas estão corretas.
- ☐ c) apenas a II está correta.
- ☐ d) I, II, e IV estão corretas.
- ☐ e) II, III, e IV estão corretas.
- ☐ f) prefiro não responder

16) Complete a sentença:

Temperaturas_____ são indicados em _____ e podem apresentar valores_____.

Temperaturas_____ são sempre_____ ou, no limite, iguais a zero.

- ☐ a) relativas - graus - negativos - absolutas- positivas
- ☐ b) absolutas - Kelvin - imaginários - positivas - absolutas
- ☐ c) absolutas - graus - negativos - relativas - positivas
- ☐ d) absolutas - Kelvin - negativas - relativas - positivas
- ☐ e) relativas - °C ou K - negativos - absolutas - negativas
- ☐ f) prefiro não responder

17) Analise a formula, **assinale TODAS as sentenças corretas.**

$$q_{rad} = F_{ij} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

- ☐ a) Descreve a taxa de transferência de calor por radiação entre duas superfícies em função da diferença de temperatura entre elas..
- ☐ b) F_{ij} é o Fator de forma, que depende da geometria das superfícies e de como elas estão orientadas entre si.
- ☐ c) ϵ diz respeito à emissividade das superfícies, e seu valor varia entre 0 e 1.
- ☐ d) σ é uma constante de erro, cujo valor é inferior à unidade.
- ☐ e) T_1 e T_2 são temperaturas das superfícies expressas em °F.
- ☐ f) O valor resultante dessa equação pode ser expresso em J ou em W.
- ☐ g) O valor resultante dessa equação pode ser expresso em W ou Kcal/h.
- ☐ h) T_1 e T_2 são as temperaturas absolutas das superfícies.
- ☐ i) σ é a constante de Planck, cujo valor é $6,58 \cdot 10^{-16}$ eV.s
- ☐ j) ϵ e F_{ij} são números adimensionais cujo valor, está compreendido entre 0 e 1.
- ☐ l) prefiro não responder

18) Indique o que representa cada um dos termos da equação.

$$q_{conv} = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$$

	a) Coeficiente de película.	b) Área da superfície exposta ao fluido.	c) Temperatura da superfície.	d) Temperatura do fluido circundante.	e) Coeficiente de emissividade.
h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T _s	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T _∞	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
prefiro não responder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19) A equação abaixo descreve um balanço térmico na superfície de um sólido posicionado a uma distância próxima de uma outra superfície numa temperatura mais alta.

Assinale a afirmativa correta.

$$q = F_{ij} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) - h \cdot A \cdot (T_2 - T_{\infty})$$

- ☐ a) A fórmula combina os efeitos de radiação e condução de calor.
- ☐ b) F_{ij} é uma constante de cálculo que independe da distância entre as duas superfícies.
- ☐ c) h e ε são parâmetros associados, respectivamente, à radiação e convecção do calor.
- ☐ d) F_{ij} é um fator de correção aplicado somente quando há transferência de calor por condução.
- ☐ e) prefiro não responder

Apêndice II – Questionário de satisfação

Questionário de Satisfação sobre o experimento

Pesquisa de satisfação sobre o experimento desenvolvido para ensino de radiação.

Observações sobre o questionário:

O questionário é respondido com seu consentimento, logo se houver questões que você não queira responder haverá, opção "prefiro não responder" ou deixa-la em branco.

Observação:

Quando não houver a opção de "prefiro não responder" você pode optar por deixar a questão em branco.

1) Em relação a sua experiência

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

2) Em relação ao aprendizado

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

3) Em relação aos materiais empregados

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

...

4) Em relação a didática aplicada.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

5) Como você avalia o experimento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Muito ruim	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito bom

6) Como este experimento ajudou você de maneira significativa no entendimento sobre transferência de calor por radiação.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pouco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

7) Como você avalia a metodologia aplicada para o ensino de radiação.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Muito ruim	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito boa

...

8) Com base nos materiais utilizados, você considera este experimento de baixo custo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Não considero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Considero

8) Com base nos materiais utilizados, você considera este experimento de baixo custo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Não considero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Considero

...

9) Com base no experimento realizado, você considera este experimento adequado para o ensino de transferência de calor nas aulas de engenharia, na cadeira de fenômenos de transporte II.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Não adequado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Adequado

10) Este experimento consolidou alguma nova habilidade sobre a matéria de fenômenos de transporte II.

Exemplo medir com instrumentos, habilidade motora em ensaios, resolução e análise de problemas, trabalho em grupo, noções sobre radiação, noções de metrologia...

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Não consolidou	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Consolidou

...

11) Qual habilidade foi adquirida com este experimento, ou qual conhecimento prévio foi aprimorado.

Texto de resposta curta

.....

12) Em relação a comparação teoria e prática, qual seu nível de satisfação.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insatisfeito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito satisfeito

13) O quanto você recomendaria as pessoas participarem desta aula experimental.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pouco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito

...

14) **Deixe aqui um relato de sua experiência ao participar deste experimento**, se foi significativo, se de alguma maneira ajudou você a compreender conceitos novos ou consolidar conceitos já compreendido ou outras observações que poderiam ajudar a trabalhos futuros.

Texto de resposta curta

.....

Apêndice III – Questionário final

Questionário final sobre transferência de calor por radiação



Esse questionário faz parte do programa de mestrado em STEM UERGS UNIDADE GUAÍBA onde sua participação é fundamental.

Mestrando: Rafael Pereira Gonçalves. Orientador: Renato Letizia Garcia

Objetivo: Avaliar o aprendizado após participação na aula experimental realizada.

E-mail *

E-mail válido

Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)

Seção 2 de 3

Perguntas Gerais sobre Radiação - Parâmetros e constantes



Descrição (opcional)

1) A letra “w”, no SI (Sistema Internacional de Unidades), representa: *

- ☐ a) unidade de tensão elétrica;
- ☐ b) unidade de corrente elétrica;
- ☐ c) unidade de energia térmica;
- ☐ d) unidade de potência, térmica ou elétrica;
- ☐ e) unidade de energia elétrica.

2) A transferência de calor por convecção:

- ☐ a) ocorre somente no vácuo.
- ☐ b) é um mecanismo típico dos sólidos.
- ☐ c) ocorre somente nos líquidos.
- ☐ d) ocorre somente nos gases.
- ☐ e) ocorre em líquidos e gases.

3) A radiação eletromagnética é: *

- ☐ a) Uma forma de energia que se propaga apenas em meios sólidos.
 - ☐ b) Uma forma de energia que se propaga apenas em meios líquidos.
 - ☐ c) Uma forma de energia que se propaga apenas em meios gasosos.
 - ☐ d) Uma forma de energia que se propaga através do vácuo (ausência de matéria) e de meios materiais (como o ar).
 - ☐ e) Uma forma de energia que se propaga somente em altas temperaturas.
-

4) A emissão de radiação eletromagnética por um objeto está associada à: *

- ☐ a) Interação entre campo elétrico e magnético, e ocorre somente em altas temperaturas.
- ☐ b) Fusão nuclear de átomos pesados, e ocorre somente em altas temperaturas.
- ☐ c) Dispersão de ondas sonoras em um meio sólido e ocorre em qualquer temperatura.
- ☐ d) Interação entre campo elétrico e magnético e ocorre em qualquer temperatura.
- ☐ e) Colisão de partículas subatômicas de alta energia e ocorre somente em altas temperaturas.

5) Qual das alternativas indicadas abaixo não é uma onda eletromagnética? *

- ☐ a) luz visível.
 - ☐ b) Ondas de rádio e TV.
 - ☐ c) Ondas sonoras.
 - ☐ d) Ondas de micro-ondas.
 - ☐ e) Ondas de raios X.
 - ☐ f) ultravioleta.
 - ☐ g) radiação gama.
-

6) Em relação aos discos metálicos utilizados no experimento: *

- ☐ a) ambos emitem e absorvem radiação eletromagnética.
 - ☐ b) o disco "frio" somente absorve radiação eletromagnética, pois está numa temperatura mais baixa que o disco "quente"
 - ☐ c) não interagem com nenhuma forma de radiação eletromagnética.
 - ☐ d) o disco "quente" somente emite radiação eletromagnética, e isso ocorre porque sua temperatura é maior que 100°C.
 - ☐ e) o disco "frio" somente absorve radiação eletromagnética, pois está numa temperatura mais baixa que 100°C.
-

7) A unidade de medida do SI (Sistema Internacional) empregada para o cálculo das taxas de transferências de calor por radiação é: *

- ☐ a) Grau Celsius (°C).
- ☐ b) Grau Fahrenheit (°F).
- ☐ c) Kelvin (K).
- ☐ d) Grau Rankine (°R).

8) O valor da constante de Stefan-Boltzmann, utilizada para o * cálculo da taxa de transferência de calor por radiação é:

- ☐ a) $6.67 \times 10^{-11} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ☐ b) $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ☐ c) $1.34 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- ☐ d) $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

9) O que é taxa de transferência de calor por radiação e como ela está * relacionada ao experimento ?

- ☐ a) A quantidade de energia térmica transferida por condução em sólidos, e só ocorre na superfície dos discos metálicos.
- ☐ b) A quantidade de energia térmica transferida por unidade de tempo numa interface sólida pela movimentação de um fluido, e irá ocorrer somente entre os dois discos metálicos
- ☐ c) A quantidade de energia térmica transferida por unidade de tempo entre um objeto e o meio externo, devido à absorção e emissão de radiação eletromagnética, e ocorre na superfície de ambos os discos metálicos.
- ☐ d) A quantidade de energia térmica transferida entre dois objetos sólidos afastados, sendo que a geometria e a distância desses objetos não influencia nessa quantidade.
- ☐ e) A quantidade de energia térmica armazenada em um corpo, e será transferida entre os discos metálicos e o ar circundante.

10) Analise as sentenças e **marque somente a correta.** *

- ☐ a) Na superfície exposta de um disco sólido ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelo mecanismo de convecção.
- ☐ b) Na superfície exposta de um disco sólido ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelos mecanismos de convecção e condução.
- ☐ c) Na superfície exposta de um disco sólido ao ar ambiente, o calor é transferido pelos mecanismos de convecção e radiação.
- ☐ d) Na superfície exposta de um disco sólido ao ar ambiente, o calor é transferido para o ar ambiente apenas pelo mecanismo condução.

11) A emissividade é: *

- ☐ a) A medida da eficiência com que um corpo absorve radiação térmica em comparação com um corpo negro ideal, e depende essencialmente da forma geométrica desse corpo.
- ☐ b) A medida da eficiência com que um corpo emite radiação térmica em comparação com um corpo negro ideal, e depende essencialmente da forma geométrica desse corpo.
- ☐ c) A temperatura à qual um corpo começa a emitir radiação térmica, sendo proporcional à essa temperatura.
- ☐ d) A velocidade com que um corpo emite energia térmica por radiação.
- ☐ e) A medida da eficiência com que um corpo emite radiação térmica em comparação com um corpo negro ideal, e depende essencialmente do tipo de superfície desse objeto.

12) Em relação ao modelo apresentado na aula experimental, considere a seguinte equação. *

$$Q = [Fij. \epsilon. \sigma. A. (T1^4 - T2^4) + h. A. (Ts - T\infty)] . \Delta t$$

- ☐ a) A equação combina os efeitos de radiação e condução de calor, porém não pode ser aplicada aos experimentos realizados em aula, pois não considera as perdas externas de convecção e radiação.
- ☐ b) Fij representa uma constante do calculo que não é influenciada pela posição e distância dos discos metálicos.
- ☐ c) A fórmula indica que a quantidade total de calor transferida, Q, é a soma algébrica das contribuições da radiação (primeiro termo) e da convecção (segundo termo).
- ☐ d) A fórmula indica que a quantidade total de calor transferida, Q, é a soma algébrica das contribuições da convecção (primeiro termo) e da radiação (segundo termo).
- ☐ e) Fij é um fator de correção aplicado somente quando há transferência de calor por condução.

13) Qual das seguintes afirmações sobre a transferência de calor por radiação é correta?

- ☐ A) A transferência de calor por radiação ocorre apenas entre corpos em contato direto.
- ☐ B) A radiação térmica é um processo que requer um meio material para ocorrer.
- ☐ C) A radiação térmica é emitida por todos os corpos com uma temperatura acima do zero absoluto.
- ☐ D) A taxa de transferência de calor por radiação independe da natureza da superfície dos corpos que estão envolvidos nessa transferência.

14) Qual das seguintes leis descreve a relação entre a potência radiada por um corpo negro e sua temperatura?

- ☐ A) Lei de Fourier.
- ☐ B) Lei de Stefan-Boltzmann.
- ☐ C) Lei de Resfriamento de Newton
- ☐ D) Lei dos gases ideais.

15) São corretas as sentenças:

- I) Um corpo negro ideal absorve toda a radiação incidente, independente do seu comprimento de onda .
- II) Para uma dada temperatura e comprimento de onda, nenhuma superfície pode emitir mais energia do que um corpo negro ideal.
- III) O espectro de radiação emitido por um corpo negro ideal depende apenas da sua temperatura absoluta.
- IV) A energia total emitida por um corpo negro ideal aumenta linearmente com o aumento da temperatura.
- V) Um corpo negro emite radiação apenas no espectro visível quando aquecido a altas temperaturas.
- VI) A emissividade de um corpo negro é sempre maior que 1, independentemente da temperatura.

- ☐ a) I, II, IV e V.
- ☐ b) I, III, IV e VI.
- ☐ c) I, IV, V e VI.
- ☐ d) I, II e III.
- ☐ e) I, II, V e VI.

16) São corretas as sentenças:

- I) O fator de forma F_{ij} é definido como a fração da radiação que deixa a superfície i e é interceptada pela superfície j .
- II) Os fatores de forma podem ser calculados pela aplicação de algumas regras e com o uso dos gráficos.
- III) Fatores de forma podem ser calculados ignorando a geometria das superfícies envolvidas, pois dependem apenas da distância entre elas.

- ☐ a) I, II, e III.
- ☐ b) I e II.
- ☐ c) III.
- ☐ d) II.
- ☐ e) I e III.

17) Sabendo que a quantidade de calor "Q" transferida é dada em joule (J), analise as seguintes afirmações:

- ☐ a) 1 joule (J) corresponde a 1 watt por segundo (W/s).
- ☐ b) 1 joule (J) corresponde a 1 watt . segundo (W.s).
- ☐ c) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt . segundo (kW.s).
- ☐ d) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt . hora (kW.h).
- ☐ e) 1 joule (J) corresponde a 1 quilowatt por hora (kW/h).

18) O que é a taxa de transferência de calor ?

- ☐ a) A quantidade de energia térmica transferida entre dois corpos sólidos.
- ☐ b) A quantidade de calor transferida por unidade de área entre um objeto e o ar ambiente.
- ☐ c) A quantidade de calor transferida por unidade de tempo, pelo mecanismo de condução, convecção ou radiação.
- ☐ d) A quantidade de energia térmica transferida por unidade de temperatura em um sistema fechado.
- ☐ e) A quantidade de calor por unidade de massa que é transferida entre dois corpos.

19) A equação abaixo o refere-se ao aquecimento de um objeto sólido, por radiação e convecção, durante um intervalo de tempo fixado:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{rad}} + Q_{\text{conv}}$$

Assinale as sentenças abaixo:

- I. Q_{rad} é o produto da taxa de transferência de calor por radiação pelo por intervalo de tempo fixado.
- II. Q_{total} pode ser calculado como o produto do calor específico pela massa do objeto e pela sua variação de temperatura neste intervalo.
- III. Q_{conv} é proporcional ao coeficiente de emissividade do objeto sólido.
- IV. Q_{conv} é proporcional à diferença entre a temperatura do objeto sólido e do ar ambiente.
- V. Q_{rad} é proporcional ao coeficiente de película na interface entre o sólido e o ar.

São corretas as sentenças:

- ☐ a) I, III, e IV.
- ☐ b) todas.
- ☐ c) apenas a II.
- ☐ d) I, II, e IV.
- ☐ e) II, III, e IV.

20) A equação " $[(q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}})_1 - (q_{\text{rad}} + q_{\text{conv}})_2] \cdot \Delta t = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i)$ " na qual " 1° " e " 2° " correspondem, respectivamente, às faces do disco frio voltadas para o disco quente e para o ar ambiente, representa no experimento realizado...

Análise as sentenças:

- ☐ a) A taxa líquida de transferência de calor entre os dois discos
- ☐ b) O balanço térmico aplicado sobre o disco "frio"
- ☐ c) O balanço térmico aplicado sobre o disco "quente"
- ☐ d) A taxa líquida de transferência de calor entre os discos e o ar ambiente.

21) Uma câmera termográfica é utilizada para medir a temperatura de objetos através da radiação emitida por eles. Qual é o princípio físico fundamental que permite que essa medição seja realizada?

- ☐ A) Reflexão da luz visível pelos objetos.
- ☐ B) Absorção de radiação ultravioleta pela superfície dos objetos.
- ☐ C) Emissão de radiação infravermelha pelos objetos devido à sua temperatura.
- ☐ D) Difração da radiação de micro-ondas ao redor dos objetos.

22) O experimento realizado são posicionados dois discos metálicos, um de frente para o outro, sendo avaliada a transferência de calor por _____ e _____ entre esses discos e o ar ambiente. Um dos discos, denominado disco _____ é aquecido por uma resistência elétrica e sua temperatura é mantida constante. O outro disco, denominado disco _____, modifica sua temperatura ao _____ calor na face voltada para o disco aquecido e, simultaneamente, ao _____ calor para o ar ambiente na outra face.

- ☐ a) Radiação – condução – quente - frio – ceder - absorver.
- ☐ b) Condução – radiação – frio - quente – absorver - ceder.
- ☐ c) Radiação – condução – frio - quente – absorver - ceder.
- ☐ d) Radiação – convecção – quente - frio – absorver - ceder.
- ☐ e) Radiação – convecção – quente - frio – ceder - absorver.

23) O experimento realizado consiste na medição das temperaturas em _____ do disco _____ e em _____ do disco _____. Isto é feito com o emprego de uma câmera termográfica que faz a medição da temperatura de uma superfície através da radiação _____ emitida por esta superfície.

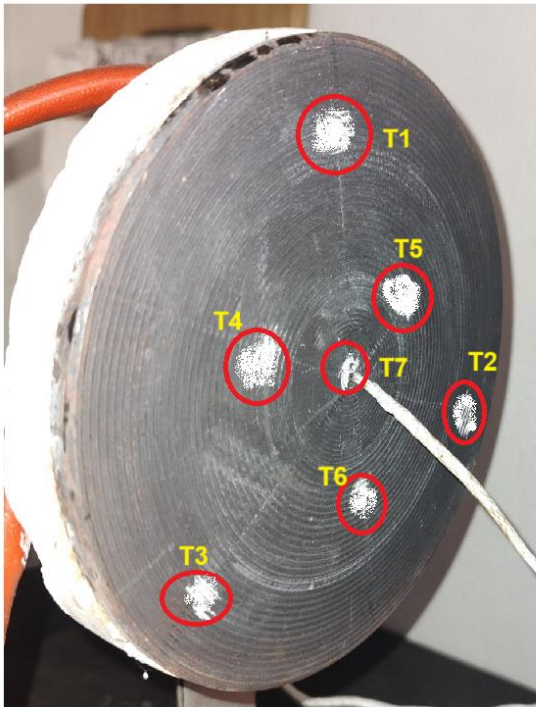
- ☐ a) duas faces – quente – uma face - frio – infravermelha.
- ☐ b) duas faces – frio – duas faces – quente - ultravioleta.
- ☐ c) duas faces – frio – uma face – quente - infravermelha.
- ☐ d) duas faces – quente – uma face – frio - ultravioleta.
- ☐ e) duas faces – quente – uma face - frio – infravermelha.

Formulário de aula experimental.

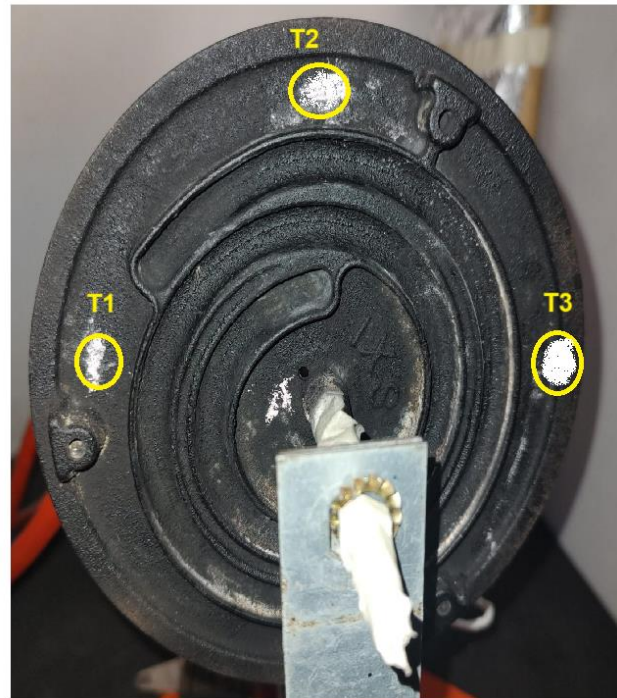
- 1) Registro de medições, anote na tabela os registros realizados

Ilustração orientativa sobre os pontos de medição do ensaio

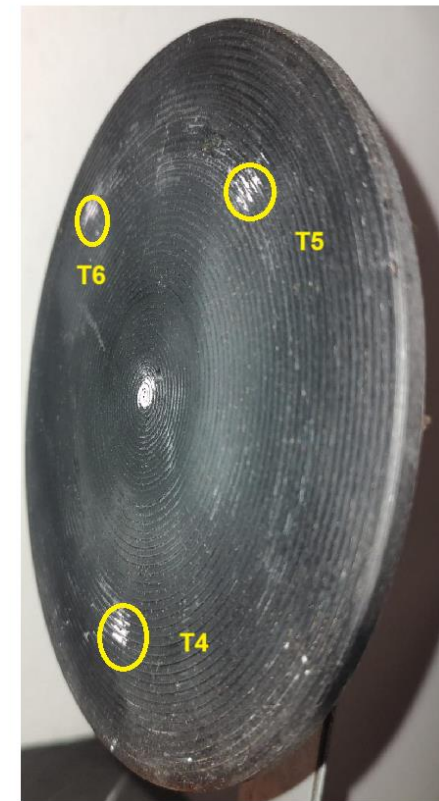
**Pontos de medição
placa quente**



**Pontos de medição
placa fria, externo**



**Pontos de medição
placa fria, interno**



Formulário de ensaio experimental												
SETUP		DISTÂNCIA				observações:						
		SENSOR										
T Ambi		TEMP DO CONTROLADOR										
Roteiro de ensaios												
	T0											
Placa quente	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	11 min
t1												
t2												
t3												
t4												
t5												
t6												
t7												
Placa fria												
t1 ext												
t2 ext												
t3 ext												
t4 interno												
t5 interno												
t6 initero												

ε	D (mm)	r (mm)	m (kg)		A (m ²)

Placa quente T médias		Placa fria T médias	T ambiente
Tempo (min)	°C	°C	°C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

distância medida com paquímetro	
------------------------------------	--

temperatura de setup do controlador	
-------------------------------------	--

Diferença da temperatura ajustada no controlador com a temperatura medida ($T_{\text{setup}} - T_{\text{medido}}$).	
---	--

valor inicial	
q rad int. (W)	

valor Final	
q rad int. (W)	

valor inicial	
q conv int. (W)	

valor Final	
q conv int. (W)	

valor inicial	
q conv ext (W)	

valor Final	
q conv ext (W)	

valor inicial	
q rad ext. (W)	

valor Final	
q rad ext. (W)	

- 2) Calcule as 4 taxas de transferência de calor e o balanço térmico após 2 minutos, considerando $c_p = \text{_____}$, $h_1 = \text{_____}$, e $h_2 = \text{_____}$.