

Relatório II - Radiação Térmica

Resumo

No presente prática foram investigados os processos de emissão de radiação de corpos de cores com suas temperaturas. Para isso, foi avaliada a validade da Equação de Boltzmann em duas situações. O mesmo foi feito para o lei do inverso do quadrado da distância. Ainda nesta, foi realizada uma avaliação qualitativa acerca da irradiação das faces de um corpo negro, simulado com um cubo e, por fim, mediu-se a irradiação do corpo humano.

Introdução

O estudo do processo de transferência de calor por radiação térmica em meios que absorvem ou emitem radiação tem recebido crescente atenção nos últimos anos devido a sua importante aplicação em fornalhas, fabricação de vidro, entre outros. Embora sejam aplicações recentes, o estudo da radiação em gases vem sendo explorado por mais de cem anos.

A radiação térmica é considerada aquela radiação que é emitida devido a sua temperatura.

A correlação da radiação R emitida por um corpo a temperatura T foi proposta inicialmente por Josef Stefan em 1879 como:

$$R = \sigma T^4$$

onde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ é a constante de Stefan - Boltzmann.

Atrelado ao conceito que dá nome a esta prática, temos o corpo negro, que é uma idealização que serve de padrão para definir propriedades radiativas de superfícies reais, visto que é um absorvedor e emissor perfeito.

O corpo negro possui algumas propriedades, tais como:

- absorver toda a energia radiativa incidente
- A radiação emitida não depende da direção

Nesta prática foram estudados os processos de emissão de corpos aquecidos, bem como os processos de absorção e a relação entre emissão e temperatura dos corpos.

Metodologia

Esta prática é composta de diversas etapas. Na etapa 1, visando verificar a lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas, o sensor de radiação do tipo Termopilha TD-8553 foi posicionado próximo à lâmpada para determinar a radiação emitida em função da intensidade da lâmpada de Stefan-Boltzmann TD-8555.

Antes da lâmpada ser ligada, foram medidas a temperatura ambiente $T = 25^\circ$ e a resistência do filamento da lâmpada $R_{\text{fil}} = 0,2 \Omega$. Logo após foi variada a tensão sob a lâmpada e anotado os valores de intensidade no detector.

Na etapa 2, foi verificada a lei do inverso do

quadrado da distância para fontes pontuais. Para isso, a posição do sensor foi variada e o valor da irradiação foi anotado.

Na etapa 3, foi feita uma análise qualitativa da radiação térmica. Antes de ligar o cubo, foi medida a radiação e a temperatura nas quatro faces do mesmo. Logo após foi-se aquecendo o cubo empregando-se 10%, 30%, 50%, 70% e 100% da potência total de 127W e anotou-se a temperatura e as tensões em cada superfície respectivas.

Na etapa 4, ainda utilizando o cubo como fonte não pontual, aqueceu-o na potência máxima e determinou-se a irradiação de uma das faces com a variação da distância até que se atinja irradiação zero.

Na etapa 5, o sensor foi encostado em uma das faces do cubo e a irradiação foi monitorada durante o resfriamento do mesmo.

Na etapa 6 foi determinada a irradiação emitida pelo corpo humano encostando o sensor em nossa pele.

Resultados e Discussões

O sensor utilizado nos fornece medidas em mV. Entretanto a irradiação de um corpo de área A é dada em W/m^2 . Logo, todos os dados foram convertidos utilizando a relação abaixo:

$$R = \frac{V}{D \cdot A}$$

onde $D = 18,9 \pm 3,8$ e $A = 4 \text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Etapa 1 - Lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas

Segue abaixo a tabela contendo os dados coletados:

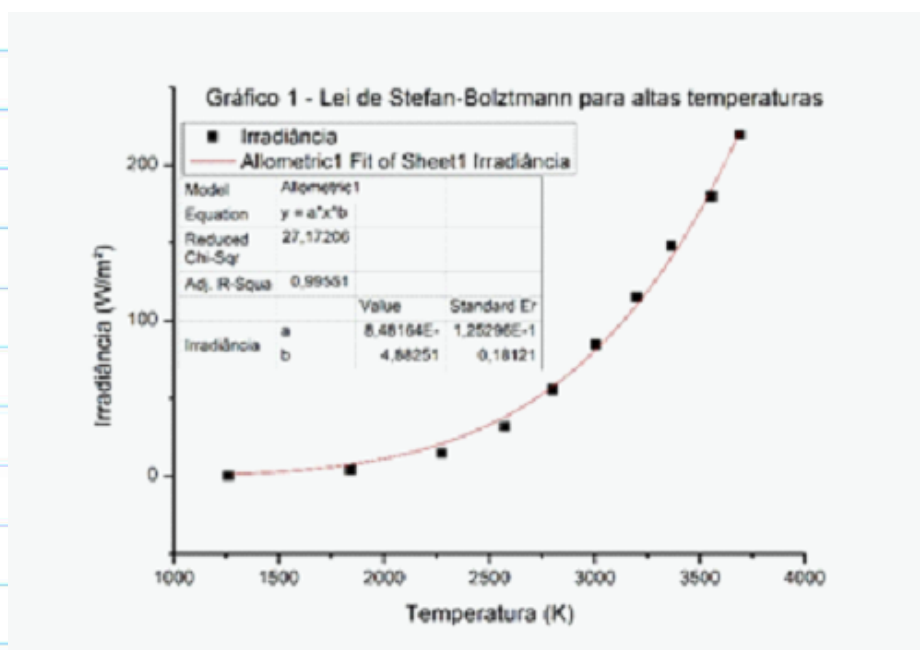
| Tensão Lâmpada (V) | Tensão Sensor (mV) | Corrente Lâmpada (A) | R (ohms) | R/R _{300K} | T (K) | W/m ² |
|--------------------|--------------------|----------------------|----------|---------------------|-------|------------------|
| 1,0 | 0,0 | 0,87 | 1,149 | 5,75 | 1259 | 0,0 |
| 2,0 | 0,3 | 1,1 | 1,818 | 9,09 | 1842 | 4,0 |
| 3,0 | 1,1 | 1,28 | 2,344 | 11,72 | 2274 | 14,6 |
| 4,0 | 2,4 | 1,47 | 2,721 | 13,61 | 2574 | 31,7 |
| 5,0 | 4,2 | 1,66 | 3,012 | 15,06 | 2801 | 55,6 |
| 6,0 | 6,4 | 1,83 | 3,279 | 16,39 | 3005 | 84,7 |
| 7,0 | 8,7 | 1,98 | 3,535 | 17,68 | 3199 | 115,1 |
| 8,0 | 11,2 | 2,13 | 3,756 | 18,78 | 3364 | 148,1 |
| 9,0 | 13,6 | 2,24 | 4,018 | 20,09 | 3557 | 179,9 |
| 10,0 | 16,6 | 2,38 | 4,202 | 21,01 | 3692 | 219,6 |

As temperaturas que constam acima foram encontrados através da interpolação entre os valores da tabela abaixo, (retirado do roteiro).

Tabela 2.1: Dependência da resistência com a temperatura do filamento de tungstênio.

| R/R _{300K} | T(K) | R/R _{300K} | T(K) | R/R _{300K} | T(K) | R/R _{300K} | T(K) |
|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| 1,0 | 300 | 5,48 | 1200 | 10,63 | 2100 | 16,29 | 3000 |
| 1,43 | 400 | 6,03 | 1300 | 11,24 | 2200 | 16,95 | 3100 |
| 1,87 | 500 | 6,58 | 1400 | 11,84 | 2300 | 17,62 | 3200 |
| 2,34 | 600 | 7,14 | 1500 | 12,46 | 2400 | 18,28 | 3300 |
| 2,85 | 700 | 7,71 | 1600 | 13,08 | 2500 | 18,97 | 3400 |
| 3,36 | 800 | 8,28 | 1700 | 13,72 | 2600 | 19,66 | 3500 |
| 3,88 | 900 | 8,86 | 1800 | 14,34 | 2700 | 20,35 | 3600 |
| 4,41 | 1000 | 9,44 | 1900 | 14,99 | 2800 | | |
| 4,95 | 1100 | 10,03 | 2000 | 15,63 | 2900 | | |

Com os dados coletados, foi feito o seguinte gráfico.



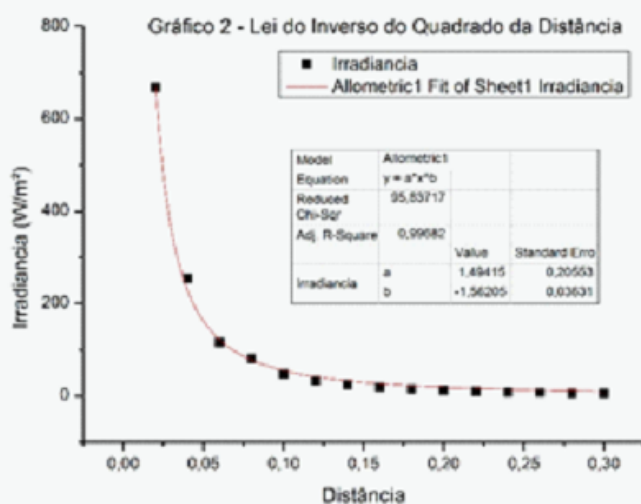
A partir do ajuste realizado, encontrou-se um valor de $b = 4,9 \pm 0,2$. O valor esperado era algo próximo de 4, visto que a relação de Stefan-Boltzmann possui potência a quarta. Essa diferença de 22,9% é considerada aceitável devido às outras incertezas associadas às demais grandezas.

Etapas 2: Lei do inverso do quadrado da distância

Segue abaixo a tabela contendo os dados coletados.

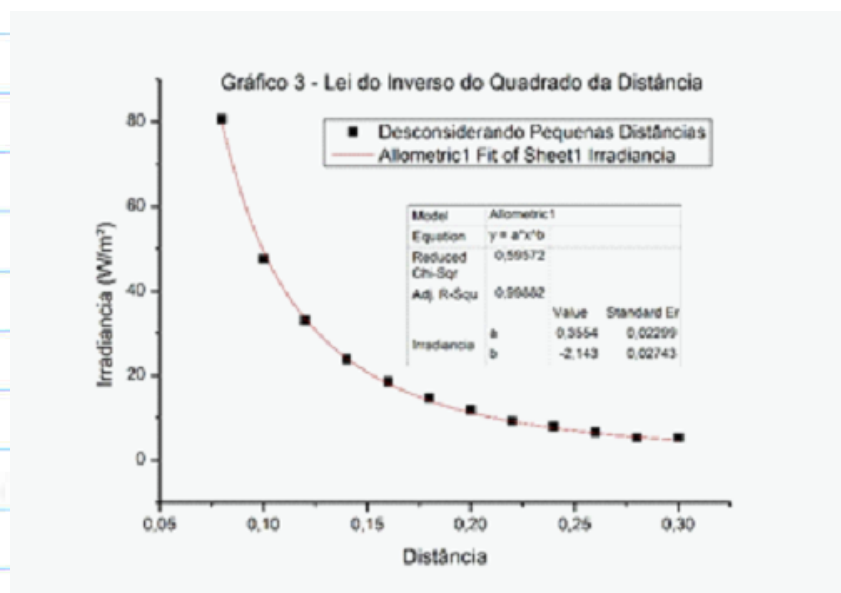
| Tabela 2 - Lei do Inverso do Quadrado da Distância | | | |
|--|----------------|-------------|-----------------------------------|
| Ponto | Distância (cm) | Tensão (mV) | Potência/Área (W/m ²) |
| 1 | 2 | 50,5 | 668,0 |
| 2 | 4 | 19,2 | 254,0 |
| 3 | 6 | 8,7 | 115,1 |
| 4 | 8 | 6,1 | 80,7 |
| 5 | 10 | 3,6 | 47,6 |
| 6 | 12 | 2,5 | 33,1 |
| 7 | 14 | 1,8 | 23,8 |
| 8 | 16 | 1,4 | 18,5 |
| 9 | 18 | 1,1 | 14,6 |
| 10 | 20 | 0,9 | 11,9 |
| 11 | 22 | 0,7 | 9,3 |
| 12 | 24 | 0,6 | 7,9 |
| 13 | 26 | 0,5 | 6,6 |
| 14 | 28 | 0,4 | 5,3 |
| 15 | 30 | 0,4 | 5,3 |

Segue o gráfico feito com os dados coletados.



Como podemos perceber, que o valor do expoente ajustado pela curva foi de $b = -1,56 \pm 0,04$. Para que os pontos sigam a lei do inverso do quadrado da distância, este valor deve ser próximo ou igual a -2 . Esta diferença de $28,2\%$ pode ser devido ao fato de nossa fonte não ser pontual e o LIQD valer somente

para fontes pontuais. Desconsiderando as distâncias menores, temos o seguinte gráfico:

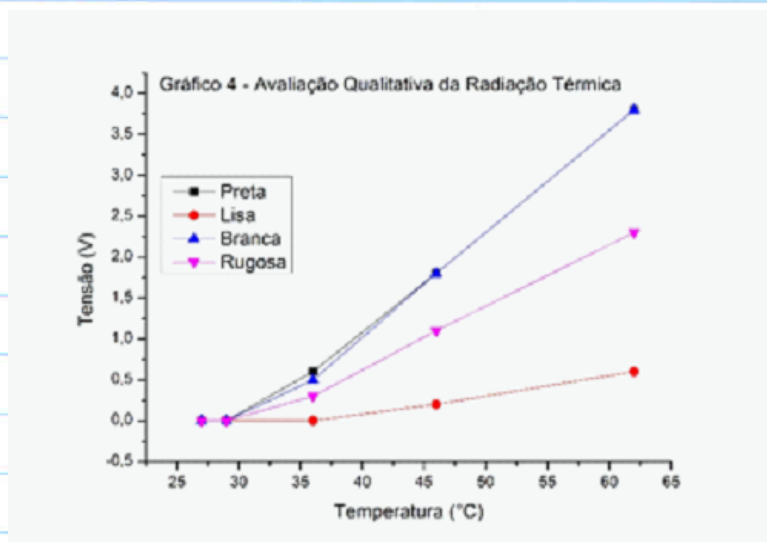


Neste podemos ver que o ajuste nos dá um valor bem mais próximo ao valor esperado. Isto se deve ao fato que, para grandes distâncias, a fonte se aproxima a uma fonte pontual. Logo, a lei passa a ser válida.

Etapa 3: Avaliação qualitativa da radiação térmica

Segue a tabela contendo os dados coletados bem como o gráfico correspondente.

| Ajuste do variac | Temp. (oC) | Tensao Para as Seguintes Superfícies | | | |
|------------------|------------|--------------------------------------|------|--------|--------|
| | | Preta | Lisa | Branca | Rugosa |
| 10% | 27 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 30% | 29 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 50% | 36 | 0,6 | 0,0 | 0,5 | 0,3 |
| 70% | 46 | 1,8 | 0,2 | 1,8 | 1,1 |
| 100% | 62 | 3,8 | 0,6 | 3,8 | 2,3 |



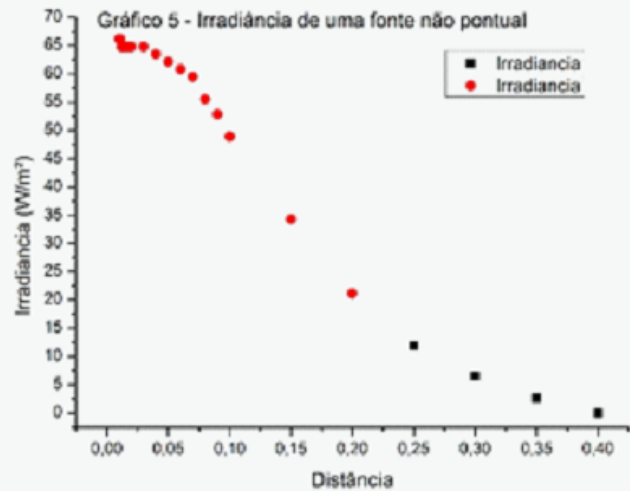
A partir deste gráfico podemos perceber que as superfícies das caixas que mais absorveram radiação foram as superfícies Preta e Branca. Estas, podemos considerar, possuem comportamento mais próximo ao de um corpo negro. As demais superfícies não se comportam tão bem. Entretanto, a superfície lisa é a que mais dista devido à sua superfície refletora.

Etapa 4: Irradiância de uma fonte não pontual

Segue a tabela contendo os dados coletados e o gráfico correspondente

Tabela 1 - Irradiância de uma fonte não pontual

| Distância (cm) | Temperatura (°C) | Tensão no sensor (mV) | Potência por área (W/m ²) |
|----------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 1 | 74 | 5 | 66,1 |
| 1,1 | 74 | 5 | 66,1 |
| 1,2 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,3 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,4 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,5 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,6 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,7 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,8 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 1,9 | 74 | 4,9 | 64,8 |
| 2 | 75 | 4,9 | 64,8 |
| 3 | 75 | 4,9 | 64,8 |
| 4 | 75 | 4,8 | 63,5 |
| 5 | 75 | 4,7 | 62,2 |
| 6 | 75 | 4,6 | 60,8 |
| 7 | 75 | 4,5 | 59,5 |
| 8 | 75 | 4,2 | 55,6 |
| 9 | 75 | 4 | 52,9 |
| 10 | 75 | 3,7 | 48,9 |
| 15 | 76 | 2,6 | 34,4 |
| 20 | 76 | 1,6 | 21,2 |
| 25 | 76 | 0,9 | 11,9 |
| 30 | 76 | 0,5 | 6,6 |
| 35 | 76 | 0,2 | 2,6 |
| 40 | 76 | 0 | 0,0 |



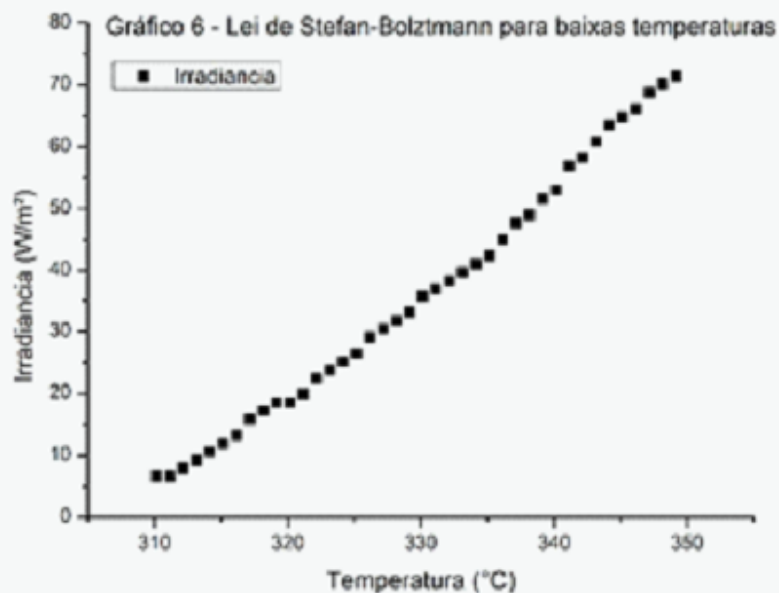
Com o gráfico é possível perceber que a distâncias menores os dados descrevem, aproximadamente, uma função quadrática. Já para distâncias maiores, percebe-se que os dados descrevem uma reta.

Etopa 5 - Lei de Steffan-Boltzmann para Baixas temperaturas

Seguem os dados obtidos para esta etopa

Tabela 5 - Lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas

| T(C) | Vsensor (mV) | P (W/m2) | T(C) | Vsensor (mV) | P (W/m2) |
|------|--------------|----------|------|--------------|----------|
| 76 | 5,4 | 71,4 | 56 | 2,5 | 33,1 |
| 75 | 5,3 | 70,1 | 55 | 2,4 | 31,7 |
| 74 | 5,2 | 68,8 | 54 | 2,3 | 30,4 |
| 73 | 5,0 | 66,1 | 53 | 2,2 | 29,1 |
| 72 | 4,9 | 64,8 | 52 | 2 | 26,5 |
| 71 | 4,8 | 63,5 | 51 | 1,9 | 25,1 |
| 70 | 4,6 | 60,8 | 50 | 1,8 | 23,8 |
| 69 | 4,4 | 58,2 | 49 | 1,7 | 22,5 |
| 68 | 4,3 | 56,9 | 48 | 1,5 | 19,8 |
| 67 | 4 | 52,9 | 47 | 1,4 | 18,5 |
| 66 | 3,9 | 51,6 | 46 | 1,4 | 18,5 |
| 65 | 3,7 | 48,9 | 45 | 1,3 | 17,2 |
| 64 | 3,6 | 47,6 | 44 | 1,2 | 15,9 |
| 63 | 3,4 | 45,0 | 43 | 1 | 13,2 |
| 62 | 3,2 | 42,3 | 42 | 0,9 | 11,9 |
| 61 | 3,1 | 41,0 | 41 | 0,8 | 10,6 |
| 60 | 3 | 39,7 | 40 | 0,7 | 9,3 |
| 59 | 2,9 | 38,4 | 39 | 0,6 | 7,9 |
| 58 | 2,8 | 37,0 | 38 | 0,5 | 6,6 |
| 57 | 2,7 | 35,7 | 37 | 0,5 | 6,6 |



Etapa 6: Radiação do corpo humano

Seguem os resultados encontrados:

| Tabela 6 - Radiação do corpo humano | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| Pessoa | A | B | C |
| Antebraço | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Pescoço | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Palma da mão | 0,4 | 0,4 | 0,1 |

Conclusão

Neste experimento foi possível obter uma boa compreensão sobre emissão de radiação térmica por corpos quentes. Testamos as leis de Stefan-Boltzmann e de LIQD e ambas são válidas somente para fontes pontuais. Entretanto, para distâncias grandes, as leis valem.