

## Relatório II - Radiação Térmica

### Resumo

Na presente prática foram investigados os processos de emissão de radiação de corpos de acordo 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 neste, foi realizada uma avaliação qualitativa acerca da irradiância das faces de um corpo negro, simulado com um cubo e, por fim, mediu-se a irradiância 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 à 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 à sua temperatura.

A correlação da radiação  $R$  emitida por um corpo à 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 a 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  $R_{\text{fio}} = 0,2 \Omega$ . Logo após foi variada a tensão sob a lâmpada e anotados os valores de intensidade no detector.

No 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 nosso 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:

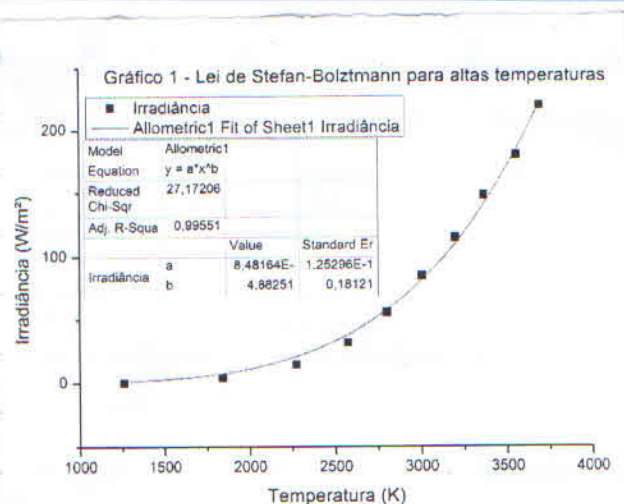
Tensão Lâmpada (V)	Tensão Sensor (mV)	Corrente Lâmpada (A)	R (ohms)	R/R <sub>300K</sub>	T (K)	W/m <sup>2</sup>
1,0	0,0	0,87	1,149	5,75	1259	0,0
2,0	0,3	1,1	1,818	9,09	1842	4,0
3,0	1,1	1,28	2,344	11,72	2274	14,6
4,0	2,4	1,47	2,721	13,61	2574	31,7
5,0	4,2	1,66	3,012	15,06	2801	55,6
6,0	6,4	1,83	3,279	16,39	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 encontradas através da interpolação entre os valores da tabela abaixo, (retirada do roteiro).

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

R/R <sub>300K</sub>	T(K)	R/R <sub>300K</sub>	T(K)	R/R <sub>300K</sub>	T(K)	R/R <sub>300K</sub>	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.

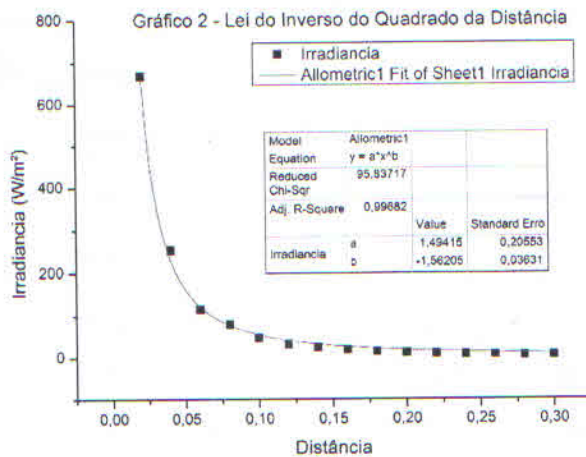
### Etapas 2: Lei do inverso do quadrado da distância

Segue abaixo a tabela contendo os dados coletados.



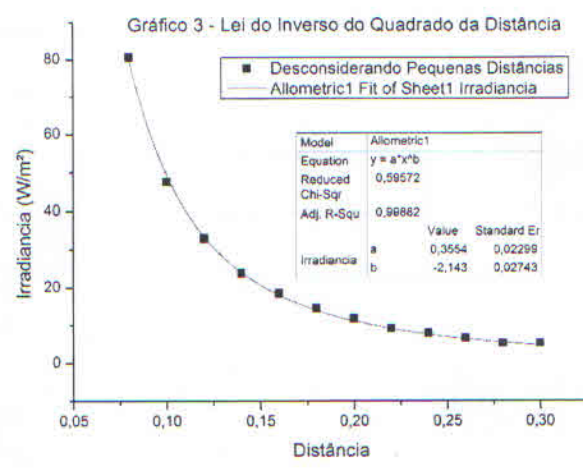
Ponto	Distância (cm)	Tensão (mV)	Potência/Área (W/m <sup>2</sup> )
1	2	50,5	668,0
2	4	19,2	254,0
3	6	8,7	115,1
4	8	6,1	80,7
5	10	3,6	47,6
6	12	2,5	33,1
7	14	1,8	23,8
8	16	1,4	18,5
9	18	1,1	14,6
10	20	0,9	11,9
11	22	0,7	9,3
12	24	0,6	7,9
13	26	0,5	6,6
14	28	0,4	5,3
15	30	0,4	5,3

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 a LIQD variar somente

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

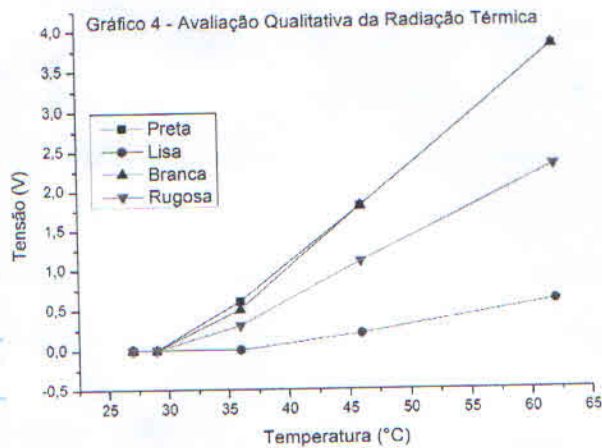


Neste podemos ver que o ajuste nos dá um valor bem mais próximo ao valor esperado. Isto se deve ao fato que, para grandes distâncias, a fonte se aproxima a uma fonte pontual. Logo, a lei passa a ser válida.

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 absorve devido à sua superfície refletora.

Estas, podemos considerar, possuem comportamento mais próximo ao de um corpo negro, enquanto que as demais não.

A face lisa do cubo reflete quase todos os raios incidentes, havendo assim pouca absorção. Isso pôde ser explicado pela inclinação do reto, que foi a menor dentre todas. Já a face rugosa absorveu menos energia, assim como a lisa. Entretanto, neste caso, os raios ficam muito dispersos, resultando em uma irregularidade tanto na absorção quanto na reflexão dos raios.



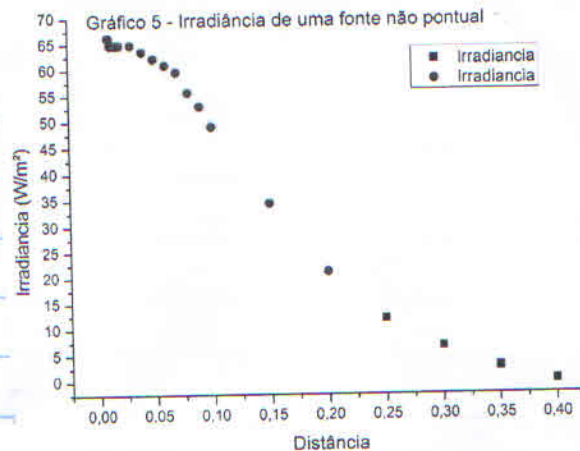
## Etapas 4: Irradiância de uma fonte não pontual

Segue a tabela contendo os dados coletados e o gráfico correspondente

5

Tabela 4 - Irradiância de uma fonte não pontual

Dis-tância (cm)	Tempe-ratura (oC)	Tensão no sensor (mV)	Potência por área (W/m <sup>2</sup> )
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



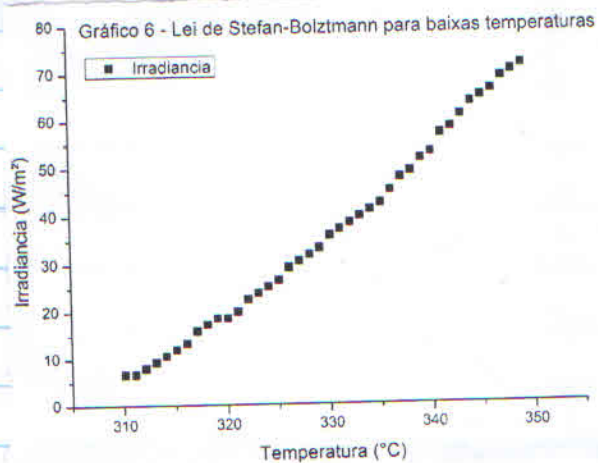
Com o gráfico é possível perceber que a distâncias menores os dados descrevem, aproximadamente, uma função quadrática. Já para distâncias maiores, percebe-se que os dados descrevem uma reta.

## Etapas 5 - Lei de Steffan-Boltzmann para baixas temperaturas

Seguem os dados obtidos para esta etapa

Tabela 5 - Lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas

T(C)	Vsensor (mV)	P (W/m <sup>2</sup> )	T(C)	Vsensor (mV)	P (W/m <sup>2</sup> )
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



2- O gráfico acima possui comportamento linear. Entretanto, a lei de Stefan-Boltzmann segue uma relação com potência à quarta. Logo, fica claro que a lei não se aplica às baixas temperaturas.

## Etapo 6: Radiação do corpo humano

Seguem os resultados encontrados:

Tabela 6 - Radiação do corpo humano				Irradiância		
Pessoa	A (mV)	B (mV)	C (mV)	A	B	C
Antebraco	0,4	0,3	0,2	5,3	4,0	2,6
Pescoço	0,5	0,4	0,4	6,6	5,3	5,3
Palma da mão	0,4	0,4	0,1	5,3	5,3	1,3

3- Segundo o roteiro, a irradiância máxima que a pele possui é de  $75 \text{ W/m}^2$ . Os valores possuem alta discrepância pois a irradiação do nosso corpo não é uniforme e este valor citado é uma média para o corpo todo. Outro fato é que o aparelho utilizado não possui sensibilidade suficiente para captar a radiação térmica liberada por temperaturas baixas como a do corpo humano.



## 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 validam.

## Referências

- Roteiro Experimental
- Apresentação dos colegas.