

Radição Térmica

Jucas da Costa

Universidade de São Paulo  
Jucas da Costa @usp.br

O experimento tem o objetivo de estudar a radiação térmica em particular a lei de Stefan. Para isto foi utilizado um aparelho experimental composto por um arame, partes de calor fixo com potênciometria. Para analisar a lei de Stefan ~~foi utilizado um aparelho experimental composto por um arame e partes de calor fixo~~ foi utilizado uma lâmpada de Stefan-Boltzmann no qual foram feitas a distribuição e a medição interpolada com a tabela respectivamente com para os diversos experimentos. Por fim foi possível obter para os dados ~~como~~ plotar a quantidade de medição de uma superfície em ~~em~~ a temperatura de um corpo.

## I. Introdução

O nascimento da física quântica se dá com a compreensão da radiação térmica por Max Planck em 1900. A radiação térmica é aquela emitida de um corpo. A distribuição de radiação emitida por um corpo é dada pela sua emissão espectral. A lei de Stefan-Boltzmann relaciona a radiação térmica  $R$  emitida por um corpo a uma temperatura  $T$  através de

$$R = \sigma T^4 \quad (1)$$

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

Porém ~~foi possível~~ a equação de Max Planck foi capaz de descrever a densidade de energia de espectro de um corpo negro através de:

$$P(\nu) = \left( \frac{dP}{d\nu} \right) \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (1)$$

Onde tem-se que  $\nu$  é a frequência da radiação emitida em  $\text{Hz}$ ,  $c$  é a vel. da luz equivalente a  $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  e por fim  $k$  é a constante de Boltzmann igual a  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ .

## II. Materiais e Métodos

Para realizar o experimento foram utilizadas as seguintes materiais em senso de radiação (de tipo pulso), um galvanômetro acoplado ao sensor de radiação em cubo de radiação térmica, um potenciômetro grande, um temporizador digital, um redondel de refratário, uma lâmpada de Stefan-Boltzmann, fonte de alimentação, um voltmetro e ampermetro para a fonte e por último um bulbo com escala milimétrica, um raio de 150 cm e um cronômetro.

Ao longo do experimento foram empregados 6 procedimentos com objetivos distintos entre si porém utilizando conceitos distintos entre si porém utilizando conceitos referentes à radiação térmica.

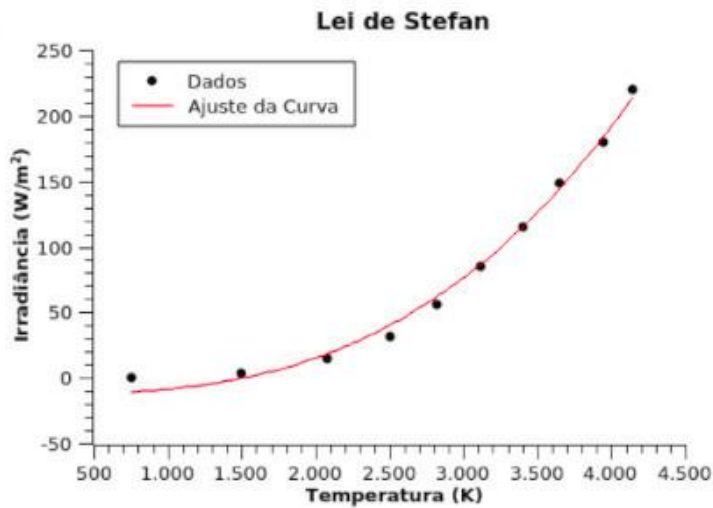
O primeiro e o segundo trata-se da verificação da lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas, utilizando um sensor e uma lâmpada para determinar a radiação emitida em função da temperatura da lâmpada, e a confirmação da lei de inverso do quadrado da distância para a lei de Stefan-Boltzmann.

O quarto procedimento trata-se da obtenção de uma fonte real pontual. O quinto se trata pelo estudo da lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas.

Por fim o último procedimento é a avaliação da radiação proveniente do corpo humano.

## III. Resultados

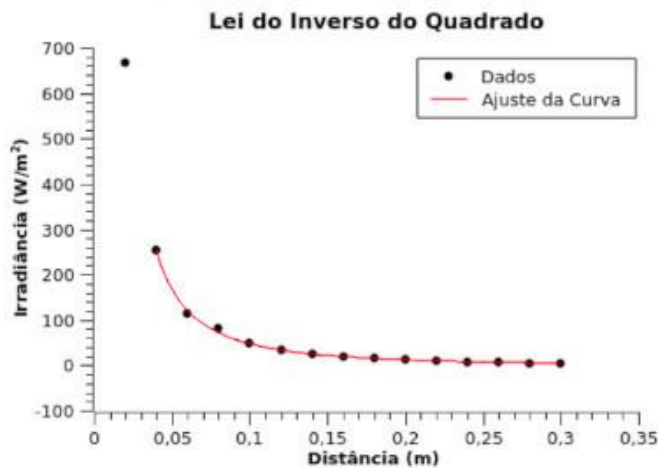
Primeiramente foi analisado os dados coletados para filamentos de uma lâmpada de Stefan-Boltzmann



Através da expressão abaixo:

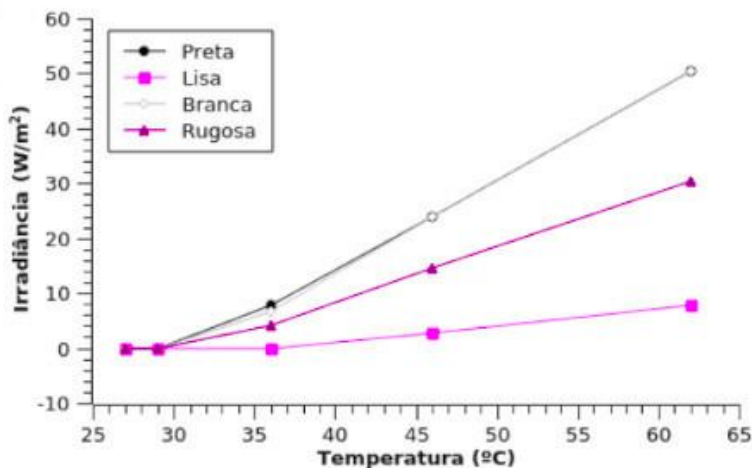
$$y = Ax^p + y_0 \quad (3)$$

foi possível realizar a regressão nos dados obtidos, obtendo os seguintes parâmetros:  $A$  de  $0,735 \pm 0,1 (\times 10^7)$ ,  $p$  equivalente a  $2,8 \pm 0,1$ , por último  $y_0$  igual a  $-12 \pm 6$ . O ajuste possui um coeficiente de correlação de  $0,994$ .  
Para a análise do muro, de quodado foi comparado as decadas de incidência pela distância com o qual construímos o seguinte gráfico.



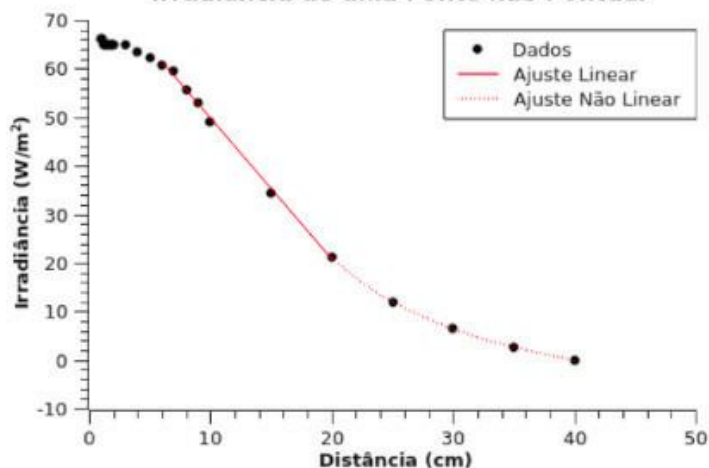
Realizando o ajuste também pela fórmula (4), obtemos:  $A$  igual a  $0,8 \pm 2$ ,  $p$  equivalente a  $-1,77 \pm 0,06$ , por último  $y_0$  de  $-2 \pm 2$ . O ajuste possui um coeficiente de correlação de  $0,997$ .  
Para a análise qualitativa da radiação térmica, foram medidas as incidências em cada face do arco, no qual as faces estão em diferentes pontos, Liso, Branco e Negro. Os dados coletados estão descritos abaixo.

### Potência em Cada Face

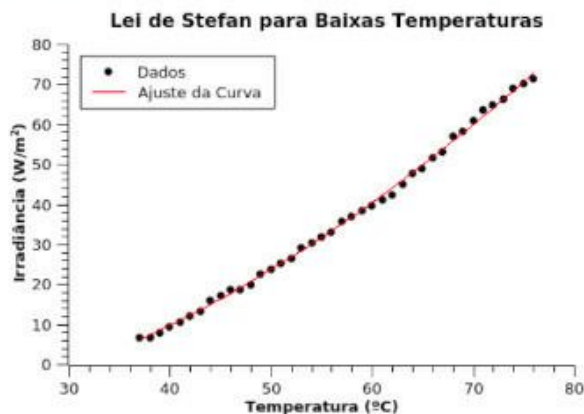


Para a análise de uma fonte não pontual, deve-se dividir as dados em duas regiões a primeira linear, a segunda descrita por (4).

### Irradiância de uma Fonte não Pontual



A parte linear apresenta um coeficiente angular de  $-2,90 \pm 0,06$  e um coef. linear de  $78,7 \pm 0,7$ .  
 Para a parte não linear foi obtido as seguintes coeficientes: A de  $2234 \pm 587$ , p de  $-1,4 \pm 0,1$  e por último um q de  $-12 \pm 2$ . Com  $R^2$  de 0,99.  
 Para baixas temperaturas a lei de Stefan (4) não obtém muito em se ajustar as dados coletados, para poder analisar os dados referentes à uma região é necessário criar um modelo para isso.



Através da (4) foi possível corrigir a lei de Stefan nesta região para

$$R = (0,02) T^{1,91} - 16 \quad (5)$$

Onde as incertezas das parâmetros são:  $0,02 \pm 0,06$ ,  $1,91 \pm 0,07$ ,  $-16 \pm 2$ .

~~Re~~

Região	A	B	C
Antebraço	5.3	4.0	2.6
Pescoço	6.6	5.3	5.3
Palma da Mão	5.3	5.3	1.3

**Tabela 1:** Dados de Irradiância ( $W/m^2$ ) coletados para as 3 regiões dos corpos de 3 indivíduos.

Aplicando em dados de Irradiância na expressão (5) obtêm-se as seguintes valores de temperatura em  $^{\circ}C$

Região	A	B	C
Antebraço	34	31	28
Pescoço	36	34	34
Palma da Mão	34	34	24

**Tabela 2:** Dados de Temperatura ( $^{\circ}C$ ) estimados por meio da Tabela 1 e expressão (5).

#### IV. Discussão

Para as experimentos feitos foram possíveis conforme as propriedades da radiação térmica. Para os dois primeiros experimentos foi possível encontrar uma dimensionalidade de  $2,8 \pm 0,1$  para a lei de Stefan no primeiro experimento.

Para a lei do universo de quads o coef. para sua vez foi de  $-1,77 \pm 0,06$ . Um valor próximo ao considerado que há uma perda considerável de calor.

Na mudança em cada fase do café, as fases brancas e pretas foram as que melhor suportaram a temperatura da lâmpada demonstrando que possuem uma melhor qualidade de medição.

Para obter nos pontos foi possível obter regiões, com conjuntos distintos. A lei de Stefan para baixas temperaturas foi possível modelar através do expoente (4), chegando a  $R = (0,222) T^{1,4}$  (6).

Por último para obter a temperatura do corpo foi então utilizado a lei de Stefan para baixas temperaturas que foi obtida praticamente

## V. Conclusão

Então, através do experimento foi possível concluir os objetivos a cerca do tema da radiação térmica. Sendo possível determinar a lei de Stefan para os dados com um expoente  $2,8 \pm 0,1$ , para o universo de quads em física é utilizado a mesma equação por sua vez resultam no coeficiente de  $-1,77 \pm 0,06$ . Para os pontos que melhor performaram foi a Preta e a Branca. Para a parte nos pontos há uma diferença entre as regiões. E por fim com os dados para baixas temperaturas assim como obtido

## Referências

[1] Roturo Experimental

[2] Eisberg, Resnick, Física Quântica, Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 5ª Edição

# Radiação Térmica

LUCAS DA COSTA  
Universidade de São Paulo  
lucasdacosta@usp.br

## Resumo

*O experimento teve o objetivo estudar a radiação térmica em particular a lei de Stefan. Para isto foi utilizado um aparato experimental composto por sensores e fontes de calor junto com potenciômetros. Para analisar a lei de Stefan foi utilizado uma lâmpada de Stefan-Boltzmann no qual foram coletados a resistência e a irradiância, interpolando os resultados com a tabela característica e assim para os demais experimentos. Por fim foi possível obter bons ajustes para os dados assim como determinar a qualidade de irradiação de um superfície ou então a temperatura do corpo.*

## I. INTRODUÇÃO

O nascimento da física quântica se dá com a compreensão da radiação térmica por Max Planck em 1900. A radiação térmica é aquela proveniente da sua temperatura. A distribuição da radiação emitida por um corpo é dada pela sua irradiância espectral.

A lei de Stefan-Boltzmann relaciona a radiação térmica  $R$  emitida por um corpo à uma temperatura  $T$  através de:

$$R = \sigma T^4, \quad (1)$$

onde temos que  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann dada por  $\sigma = 5.67 \times 10^8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^4$ .

Por fim a equação de Max-Planck foi capaz de descrever a densidade de energia do espectro de um corpo negro através de:

$$\rho_T(\nu) = \left( \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \right) \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu, \quad (2)$$

onde temos que  $\nu$  é a frequência da radiação emitida em Hz,  $c$  é a velocidade da luz equivalente a  $2,99.10^8 \text{ m/s}$  e por fim  $k$  é a constante de Boltzmann igual a  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ .

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o experimento foram utilizados os seguintes materiais: um sensor de radiação do tipo termopilha TD-8553, um voltímetro acoplado ao sensor de radiação, um cubo de radiação térmica TD-8554A, um potenciômetro variac, um termopar digital, um ventilador de resfriamento, uma lâmpada de Stefan-Boltzmann TD-855, fonte de alimentação um voltímetro e amperímetro para a fonte e por último um trilho com escala milimétrica, uma régua de 50 cm e um paquímetro.

Ao longo do experimento foram realizados 6 procedimentos com objetivos distintos entre si porém utilizando conceitos referentes à radiação térmica.

O primeiro e o segundo trata-se da verificação da lei de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas, utilizando um sensor e uma lâmpada para determinar a radiação emitida em função da intensidade da lâmpada e a confirmação da lei do inverso do quadrado da distância para a lei de Stefan-Boltzmann.

O terceiro procedimento foi a avaliação qualitativa da radiação térmica medindo a temperatura nas quatro faces do cubo que está sendo aquecido pela lâmpada em seu interior.

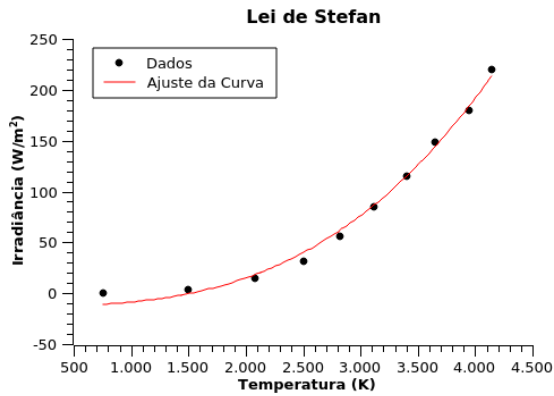
O quarto procedimento trata-se da análise de uma fonte não pontual. O quinto se passa pelo estudo da lei de Stefan-Boltzmann para

baixas temperaturas.

O sexto e último procedimento é a avaliação da radiação proveniente do corpo humano.

### III. RESULTADOS

Primeiramente foi analisado os dados coletados para o filamento de uma lâmpada de Stefan-Boltzmann.

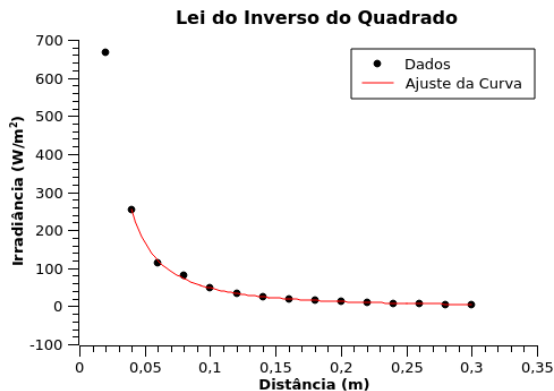


Através da expressão abaixo:

$$y = Ax^p + y_0 \quad (3)$$

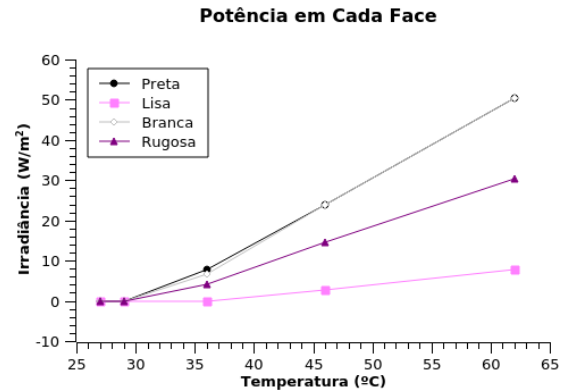
foi possível realizar a regressão não linear dos dados obtendo os seguintes parâmetros,  $A$  de  $0.735 \pm 1 (\times 10^{-8})$ ,  $p$  equivalente a  $2.8 \pm 0.1$  e por último  $y_0$  igual a  $-12 \pm 6$ . O ajuste obteve um coeficiente de correlação de 0.994.

Para a análise do inverso do quadrado foi comparado os dados de irradiância pela distância com o qual construímos o seguinte gráfico.

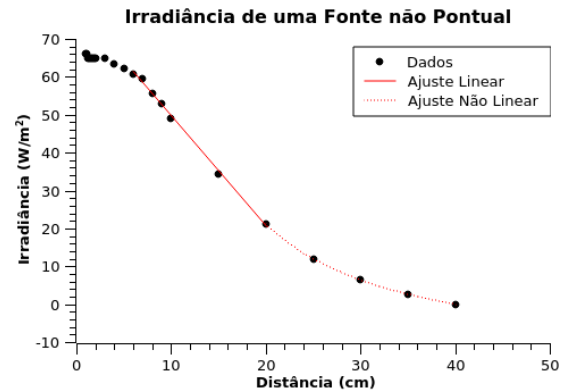


Realizando o ajuste também pela fórmula (4), obtivemos:  $A$  igual a  $0.8 \pm 2$ ,  $p$  equivalente a  $-1.77 \pm 0.06$  e por último  $y_0$  de  $-2 \pm 2$ . O ajuste obteve um coeficiente de correlação de 0.997.

Para a análise qualitativa da radiação térmica, foram medido as irradiância em cada face de um cubo, no qual as faces estão descritas por: Preta, Lisa, Branca e Rugosa. Os dados coletados estão descritos abaixo:



Para a análise de uma fonte não pontual, dividimos os dados em duas regiões a primeira linear e a segunda descrita por (4).

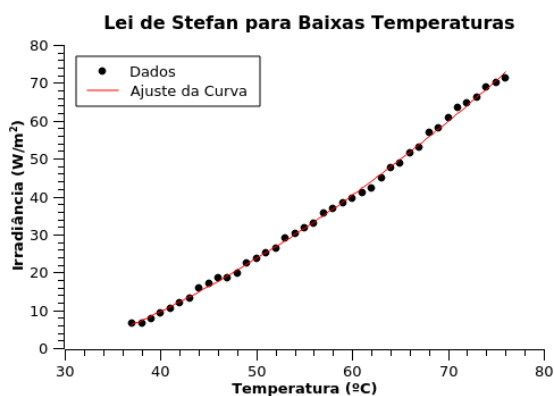


A parte linear apresentou um coeficiente angular de  $-2.90 \pm 0.06$  e um coeficiente linear de  $78.7 \pm 0.7$ .

Para a parte não linear foi obtido os seguintes coeficientes:  $A$  de  $2234 \pm 587$ ,  $p$  de  $-1.4 \pm 0.1$  e por último um  $y_0$  de  $-12 \pm 2$ . Com  $R^2$  de 0.99



Para baixas temperatura a lei de Stefan (1) não obtém êxito em se ajustar aos dados coletados, para poder analisar os dados referentes à essa região é necessário criar um modelo pra esses dados.



Através da (4) foi possível corrigir a lei de Stefan nesta região para:

$$R = (0.022)T^{1.91} - 16 \quad (4)$$

Onde as incertezas dos parâmetros é dada por:  $0.022 \pm 0.06$ ,  $1.91 \pm 0.07$ ,  $-16 \pm 2$ .

Região	A	B	C
Antebraço	5.3	4.0	2.6
Pescoço	6.6	5.3	5.3
Palma da Mão	5.3	5.3	1.3

**Tabela 1:** Dados de Irradiância ( $W/m^2$ ) coletados para as 3 regiões dos corpos de 3 indivíduos.

Aplicando esses dados de Irradiância na expressão 5 obtemos os seguintes valores de temperatura em  $^{\circ}C$ .

Região	A	B	C
Antebraço	34	31	28
Pescoço	36	34	34
Palma da Mão	34	34	24

**Tabela 2:** Dados de Temperatura ( $^{\circ}C$ ) estimados por meio da Tabela 1 e expressão (5).

## IV. DISCUSSÃO

Para os experimentos feitos foram possíveis confirmar as propriedades da radiação térmica. Para os dois primeiros experimentos foi possível encontrar uma dimensionalidade de  $2.8 \pm 0.1$  para a lei de Stefan no primeiro experimento.

Para a lei do inverso do quadrado o coeficiente por sua vez foi de  $-1.77 \pm 0.06$ . Um valor bem próximo se considerarmos que há uma perda considerável de calor.

Na irradiância em cada face do cubo, as faces Branca e Preta foram as que melhor responderam à temperatura da lâmpada demonstrando que possuem uma melhor qualidade de irradiação.

Na irradiância para fontes não pontuais foi possível observar regiões com comportamento distintos. A lei de Stefan para baixas temperaturas foi possível modelar através da expressão (4), chegando à  $R = (0.022)T^{1.91} - 16$ .

Por último para estimar a temperatura do corpo foi então utilizado a lei de Stefan para baixas temperaturas que foi estimada anteriormente.

## V. CONCLUSÃO

Enfim, através do experimento foi possível concluir os objetivos a cerca do tema da radiação térmica. Sendo possível determinar a lei de Stefan para os dados com um expoente de  $2.8 \pm 0.1$ , para o inverso do quadrado em relação à distância foi utilizado a mesma regressão que por sua vez resultou no coeficiente de  $-1.77 \pm 0.06$ . Para as faces as que melhor performaram foi a Preta e a Branca. Para a fonte não pontual houve diferença entre as regiões. E por fim com os dados para baixas temperaturas foi possível analisar a validade da lei de Stefan em baixas temperaturas assim como estimar a temperatura do corpo humano.

## REFERÊNCIAS

- [1] Roteiro Experimental.

---

[2] Eisberg e Resnick, *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*, Sexta Edição.