

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE FÍSICA-IFGW  
1º SEMESTRE DE 2010**

**PROJETO: Condução de Calor e Difusividade Térmica  
DISCIPLINA F609 - INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO**



Aluno: Glauco dos Santos de Pieri  
[glauco.pieri@gmail.com](mailto:glauco.pieri@gmail.com)

Orientador: Professor Doutor Laercio Luis Vendite  
[vendite@ime.unicamp.br](mailto:vendite@ime.unicamp.br)

Co-Orientador: Wanderson Luiz da Silva  
[wanderson@ime.unicamp.br](mailto:wanderson@ime.unicamp.br)

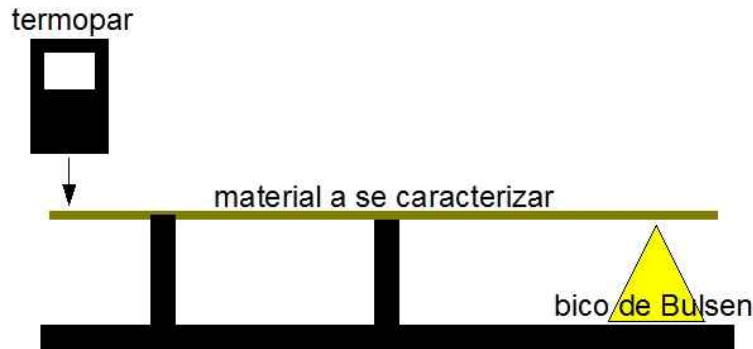
## Índice

Introdução.....	3
Um pouco de teoria.....	6
Experimentos e conclusões.....	8
Dificuldades.....	11
Parecer.....	12
Referências.....	13

## Introdução

### Descrição:

O experimento se propõe a caracterizar materiais com relação a sua condutividade térmica.



Como descrito no esquema acima, a proposta é de medir o tempo ( $\Delta t$ ) que o material gasta para sofrer uma variação de temperatura ( $\Delta T$ ). O controle da temperatura será feito pelo uso de um termopar enquanto o aquecimento é feito pela utilização do bico de Bunsen. Iremos testar alguns materiais como aço e aço inox. Com uma barra do material apoiada em dois suportes dentro de uma caixa de madeira, mediremos a temperatura inicial da barra. Conectamos o termopar na extremidade da mesma e liga-se o bico de Bunsen na outra extremidade. Nesse momento aciona-se o cronômetro e verifica-se quanto tempo é necessário para que se perceba uma variação de  $30^{\circ}\text{C}$  na barra.

### Importância didática do Trabalho:

A proposta didática do experimento é introduzir conceitos físicos referentes a condução de calor em sólidos. Pretendê-se caracterizar os materiais em bons dissipadores de calor ou bons isolantes térmicos.

Um bom dissipador de calor tem grande importância quando queremos construir equipamentos que se aquecem muito rápido, que é o caso de processadores de computador ou motores de carro.

Um bom isolante térmico é muito útil para construirmos refrigeradores ou na construção civil, quando pretende-se deixar o ambiente isolado de variações térmicas indesejáveis.

## Originalidade:

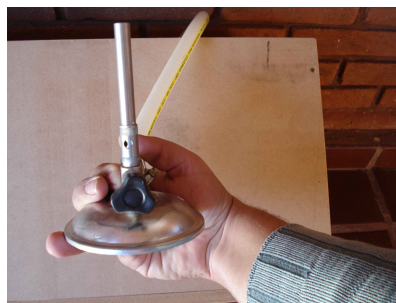
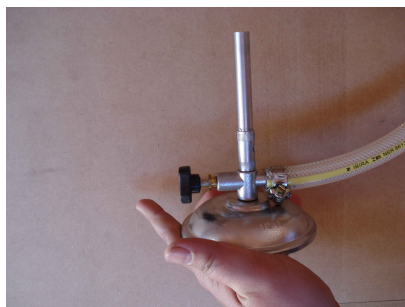
A proposta se baseia em um experimento descrito no caderno de física do ensino médio 2º ano volume 1. O experimento recebeu algumas adaptações como a troca de parafina pelo termopar para controle da variação térmica mais precisa e também incluiu-se um cronômetro para medida do tempo.

## Materiais a serem utilizados:

- 1 barra diapásão cilíndricas (espeto de churrasco) de aço.
- 1 barra chapa (espeto de churrasco) de aço inox.
- 1 bico de Bunsen.
- 1 botijão de gás pequeno.
- 1 garrafa térmica usada como calorímetro.
- 1 caixa de Madeira.
- 1 cronômetro.
- 1 multímetro.



Caixa de madeira e suporte para barra.



Bico de Bunsen com regulador.



Cronômetro.



Multímetro

## Um pouco de teoria

### Condução de Calor em uma Barra

Vamos nos ocupar de mostrar a solução analítica para o problema de condução de calor em uma barra. A equação diferencial parcial básica que descreve a temperatura  $u(x, t)$  em uma barra de comprimento  $L$  é dada pela expressão

$$\alpha^2 u_{xx} = u_t, \quad 0 < x < L, \quad t > 0$$

onde  $\alpha^2$  é a constante conhecida como difusividade térmica. O parâmetro  $\alpha^2$  depende, apenas, do material do qual é feita a barra e é definido por

$$\alpha^2 = \kappa / \rho s$$

onde  $\kappa$  é a condutividade térmica,  $\rho$  é a densidade e  $s$  é o calor específico do material da barra. As unidades de  $\alpha^2$  são dadas em (comprimento<sup>2</sup>)/tempo. Vamos também supor condições de contorno  $u(0, t) = u(L, t) = 0$  e condição inicial da forma  $u(x, 0) = t_0$ , onde  $t_0$  é o valor de temperatura em toda a barra no início do experimento.

O problema fundamental de condução de calor é encontrar  $u(x, t)$  que satisfaça as condições de contorno homogêneas e a condição inicial. Para isso, usou-se o **método de separação de variáveis**, onde admitimos que  $u(x, t) = X(x)T(t)$ . Daí obtemos a solução

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{-n^2 \pi^2 \alpha^2 t / L^2} \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{L},$$

onde os coeficientes são dados por  $c_n = \frac{2t_0}{L} \int_0^L \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{L} = -\frac{2t_0}{n\pi} [\cos(n\pi) - 1]$ . Portanto a expressão completa da solução para o problema de condução de calor nas condições dadas é

$$u(x, t) = \frac{4t_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 \pi^2 \alpha^2 t / L^2} \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{L}$$

### Termopar

Termopares são dispositivos elétricos utilizados para medir temperatura. Seu princípio de funcionamento se baseia na junção de dois tipos de metais, que gera uma tensão que é diretamente proporcional a diferença de temperatura. Então quanto maior a diferença de temperatura maior será a diferença de potencial medida. O termopar funciona com base em um fenômeno que se chama *Seebeck*.

Embora se possa construir termopares de qualquer dois metais, utilizamos alguns específicos que no nosso caso será o termopar descrito abaixo.

## Tipo J ([Ferro](#) / [Constantan](#))

A sua confiabilidade vai de -40 a 750 °C que se encaixa para as nossas necessidades, pois as temperaturas medidas situam-se entre 20°C e 300°C.

Abaixo vai as características que descreve o termopar encontradas no Wikipédia

- Termoelemento positivo (JP): Fe99,5%
- Termoelemento negativo (JN): Cu55%Ni45% (Constantan)
- Faixa de utilização: -210°C a 760°C
- f.e.m. produzida: -8,096 mV a 42,919 mV

## Experimento

Como foi o planejado, realizamos em duas etapas os experimentos que são detalhados abaixo.

- **Primeira Etapa, condução de calor em uma barra:**

Constitui-se de observar a condução de calor em uma barra de cobre. Aquecendo, através de um bico de bunsen, um fio de cobre marcado de 3 em 3 cm com parafina e observamos o derretimento da mesma. Marcamos o tempo e a temperatura no ponto pré-demarcado.

Após este primeiro experimento, decidimos utilizar um novo método experimental, devido a demora que se mostrava para derreter a parafina. Então ao invés de esperarmos o derretimento da cera, marcamos a temperatura nos pontos pré-demarcados, repetindo o procedimento de minuto em minuto e vendo sua variação. Esse novo método se mostrou muito mais interessante.

Inicialmente adotamos alguns materiais que não tinham boa condutibilidade térmica, dificultando a observação do fenômeno físico. Assim mudamos para o cobre e os resultados foram bastante animadores para o que se havia planejado para o experimento. Entretanto a dissipação de calor para o meio ambiente é bastante relevante, portanto não conseguimos grandes distancias para a observar o fenômeno, por isto a distancia máxima observada foi de 15cm.

### Dados experimentais da primeira etapa:

#### Primeiro Experimento

Experimento 1			
Barra de cobre ( $\alpha^2=1,14$ )			
Marcação (cm)	Tempo	Ddp (mV)	Temperatura (°C)
3	01:11,06	2	38,5
6	02:04,56	2	38,5
9	08:11,87	2	38,5
12	11:01,46	2	38,5
15	25:00,00	1,7	33,5



## Conclusão do primeiro experimento:

Nota-se que o ponto de fusão da parafina esta um pouco baixo do especificado na literatura. Acredito que isto se deve ao fato de ela ter sido afetada pela irradiação fornecida diretamente das chamas do bico de bunsen. Não sendo assim, aquecidas exclusivamente pelo calor conduzido através do fio de cobre .

## Segundo experimento

Barra de cobre ( $\alpha^2=1,14$ )					
pontos					
Tempo (min)	3	6	9	12	15
1	25	25	21	19	18
2	29	28	25	23	20
3	37	32	29	26	23
4	36	32	29	26	23
5	38	33	30	27	25
6	38	34	31	28	26
7					
8	38	35	31	29	26
9	42	38	32	29	27
10					

Tabela contendo dados milivolts\*10

1	50	50	41	37	35
2	56	54	50	46	39
3	72	62	56	51	46
4	69	62	56	51	46
5	73	64	58	52	50
6	73	65	60	54	51
7					
8	73	67	60	56	51
9	81	73	62	56	52
10					

Tabela contendo a temperatura em °C

## Conclusão do segundo experimento:

Nota-se que nesta abordagem nova ficou bem mais claro o calor sendo transmitido gradualmente.

- **Segunda Etapa: Difusidade Térmica**

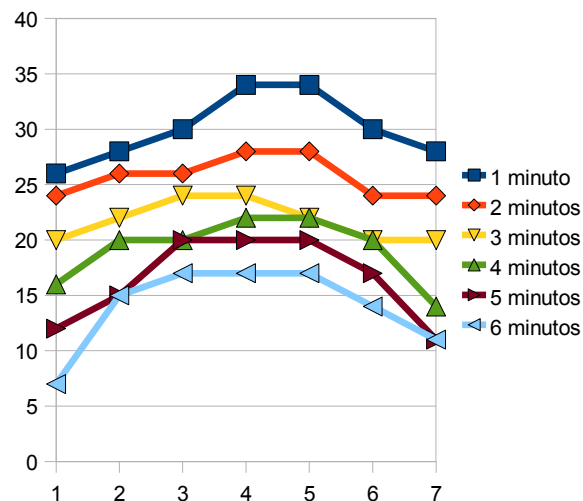
Nesta etapa aquecemos de forma homogeneia um fio de cobre marcado de 7,5cm em 7,5cm. Colocamos nos extremos dois copos de calor contendo gelo e água a zero grau Celsius.

Após isto coletamos os dados experimentais de temperatura a cada um minuto e plotamos um gráfico para compararmos com as previsões teóricas.

**Dados experimentais:**

	7,5cm	15cm	22,5cm	30cm	47,5cm	60cm	67,5cm
1 minuto	26	28	30	34	34	30	28
2 minutos	24	26	26	28	28	24	24
3 minutos	20	22	24	24	22	20	20
4 minutos	16	20	20	22	22	20	14
5 minutos	12	15	20	20	20	17	11
6 minutos	7	15	17	17	17	14	11

tabela com valores de temperatura(°C) em cada ponto e minuto



**Conclusão da segunda etapa:**

Os dados experimentais foram de encontro ao que se esperava teoricamente, rápido achatamento era esperado também porque temos perda de calor para o meio ambiente, e acreditamos que com estes resultados o experimento foi coerente com a teoria.

## **Dificuldades**

- **Referentes a construção da caixa**

Para construir a caixa pensou-se inicialmente em utilizar chapas de aço, mas o custo inviabilizou a proposta. Acrescido a isso, o responsável pela construção da caixa em aço não entendeu o projeto e conseqüentemente não o fez. Daí o projeto foi alterado para que se fizesse a caixa usando madeira. Esta alteração do projeto produziu vantagens significativas:

1. O custo de fabricação caiu para 30% do valor do que pagaríamos em relação ao de metal.
2. A confecção baseada em madeira produziu um envoltório de baixa condutividade térmica, importante para a boa realização do experimento.
3. A construção de madeira permite, caso necessário, alterações rápidas no projeto, para ajuste no experimento.

- **Atraso das entregas dos equipamentos**

Mais de um fornecedor atrasaram as entregas dos equipamentos. E em particular no caso do cronômetro e amperímetro, houve espera de mais de 20 dias para a entrega dos produtos. Acrescido a isso, o cronômetro veio danificado (carcaça vazia) o que obrigou a compra em caráter emergencial em loja de esportes a um custo maior. Devido a isso o pré-relatório foi feito sem os dados experimentais que seguirão no relatório final.

- **Obtenção de um termopar**

O termopar permitiria medições mais precisas. A ideia é usa-lo em substituição a parafina, mas ainda existe a dependência de obtermos os fios de prova junto a laboratório de física da Unicamp.

- **Medição**

Algumas das dificuldades encontradas refere-se a qualidade dos dados que obtidos. Dado a forma distinta dos objetos que serão sujeitos ao experimento, além do baixo controle sobre a temperatura produzida no bico de Bunsen.

### **Parecer do Orientador:**

O experimento realizado me pareceu coerente com a proposta da disciplina. A ementa descreve como objetivo da disciplina: fornecer ao licenciado uma discussão sobre a inserção das questões relativas ao ensino de Física no ensino médio. A demonstração da propagação do calor sobre uma ótica menos formal, através do experimento de aquecimento do fio de cobre com marcadores de parafina se mostra uma forma de introduzir conceitos a alunos sem recursos físicos e matemáticos elaborados. Enquanto que o segundo experimento se ocupando de atestar a veracidade da solução analítica da equação diferencial do calor, produzida pelo método de separação de variáveis, me pareceu um bom laboratório para que o licenciado materializasse o sentimento prazeroso do ato científico. Acrescido a isso, digo que o relatório se mostrou breve e de fácil leitura, características importantes em textos científicos.

Sugestões possíveis seriam estritamente destinadas ao refinamento dos métodos aplicados nas coletas de dados. Mas como um ambiente herméticamente controlado, além de excessivamente complicado e caro, não é escopo da disciplina, digo que as metas estabelecidas foram alcançadas.

## Referências:

- Caderno do Professor, Ciências da natureza e suas tecnologias, Física 2ª série, ensino médio, volume 1 – 2009.
- Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno, Boyce, W. E.; DiPrima, R.C. - 8ª edição – editora LTC.
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Termopar>