

---

## ANALOGIA NO ENSINO DA FÍSICA

---

*Wilton Jorge*

Depto. de Ciências Físicas – UFU

Uberlândia – MG

Analogia é um processo comparativo de fenômenos diferentes através de suas semelhanças.

Assim, pela simples mudança das variáveis de uma equação física que rege o comportamento de um sistema obtemos uma nova equação que rege um sistema semelhante.

O aprendizado da física torna-se mais fácil e agradável se o estudo de um fenômeno novo for comparado a um fenômeno semelhante já conhecido. O estudo torna-se mais eficaz se a analogia é feita com um fenômeno encontrado na natureza ou de simples realização na sala de aula. Assim, o estudo da queda de uma gota d'água no ar ou da queda de um pára-quadras fica bem mais compreensível ao aluno se explicado após o estudo do movimento de pequenas esferas de aço em uma proveta contendo glicerina. Para o aluno fica mais evidente associar as forças que atuam nas esferas e os seus tipos de movimentos com as forças e os movimentos da gota d'água e do pára-quadras. A comparação entre fenômenos semelhantes contribui para a sedimentação dos conceitos semelhantes e facilita a introdução de conceitos novos.

O estudo do movimento harmônico simples torna-se mais compreensível ao aluno se for analisado como a projeção sobre o eixo de um movimento circular uniforme. A analogia entre os dois movimentos serve para reforçar conceitos já introduzidos e assimilados no estudo do movimento circular uniforme e destaca as diferenças entre os dois movimentos dando ainda a oportunidade de introduzir novos conceitos e demonstrações das equações do movimento harmônico simples de uma forma mais natural e atrativa para o aluno.

O estudo da transmissão de calor torna-se deveras simplificado se fizermos a analogia com a transmissão de eletricidade. Vamos fazer uma comparação mais detalhada destas transmissões:

Na eletricidade haverá uma corrente elétrica se houver uma diferença de potencial entre dois pontos. Na área térmica haverá uma corrente térmica ou fluxo calorífico ( $\phi$ ) se houver uma diferença de temperatura entre dois pontos de um sistema. Quando

o fluxo de calor é constante, ou seja, não depende do tempo e a temperatura de cada ponto permanece constante, o regime de transmissão de calor é chamado de permanente ou estacionário.

Na transmissão de calor por condução, característica dos sólidos, a energia é transmitida por meio de impactos entre os átomos constituintes do sistema e pelo deslocamento dos elétrons livres das regiões de alta temperatura para as de baixa temperatura. Assim, a transferência de carga elétrica causada por uma diferença de potencial elétrico e a transferência de calor causada por uma diferença de potencial térmico – temperatura – tem uma analogia proveniente, em parte, do fato dos dois fenômenos terem a mesma origem, ou seja, o deslocamento de elétrons livres.

Na eletricidade, a intensidade de corrente elétrica ( $i$ ) é dada pela razão entre a quantidade de carga ( $q$ ) e o tempo. Analogamente a intensidade de corrente térmica ou fluxo ( $\phi$ ) é dada pela razão entre a quantidade de calor ( $Q$ ) e o tempo.

Na área térmica, a equação da resistência térmica é análoga à equação da lei de Ohm na eletricidade, ou seja,

$$R_t = \frac{\Delta t}{\phi} \text{ e } R_e = \frac{\Delta V}{i}.$$

A resistência elétrica de um fio é dada pela expressão:  $R_e = \frac{\rho l}{A}$  ou  $R_e = \frac{l}{\sigma A}$ . A resistência térmica é dada pela expressão  $R_t = \frac{X}{KA}$ . As grandezas  $l$  e  $X$  são análogas e representam a dimensão na direção da corrente. A condutividade elétrica ( $\sigma = \frac{1}{\rho}$ ) e a condutividade térmica ( $K$ ) são grandezas que dependem, fundamentalmente, da natureza do material e da temperatura. Em vista disso, bons isolantes elétricos são bons isolantes térmicos. A área  $A$  nas duas expressões representa a área perpendicular à corrente elétrica ou térmica.

A corrente elétrica ( $i$ ) será dada pela equação 1:

$$i = \frac{\Delta V}{R_e} = \frac{\sigma A \Delta V}{l}. \quad (1)$$

A corrente térmica ( $\phi$ ) será dada pela equação 2:

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_t} = \frac{K A \Delta T}{X}. \quad (2)$$

Observe que há uma perfeita correspondência entre as duas equações e as suas grandezas físicas.

Estabelecidas as equações e conceitos básicos, podemos obter equações da transmissão de calor transformando equações análogas da eletricidade.

Vamos agora comparar circuitos elétricos e circuitos térmicos obtendo equações de grande valia na solução de problemas de transmissão de calor.

Suponhamos que uma parede composta separe um ambiente a uma alta temperatura ( $T_1$ ), constante, de um ambiente a uma baixa temperatura ( $T_4$ ), constante. Através da parede, conforme indica a figura seguinte (Fig.1), haverá uma corrente térmica unidimensional e constante pois o regime de transmissão é estacionário.

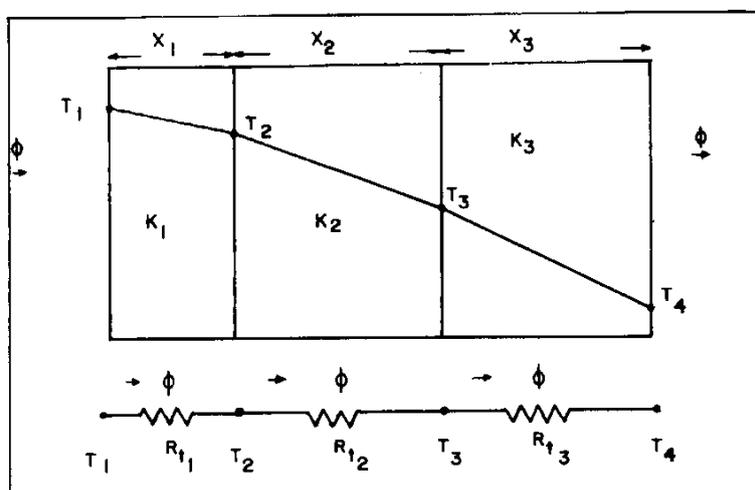


Fig. 1- Associação de resistências térmicas

Conhecendo-se os constituintes da parede e as suas dimensões, podemos determinar as resistências térmicas individuais pela equação:

$$R_t = \frac{X}{KA} \quad (3)$$

Fazendo analogia com a eletricidade podemos determinar a resistência térmica total da parede associando as resistências em série conforme a Fig. 2.

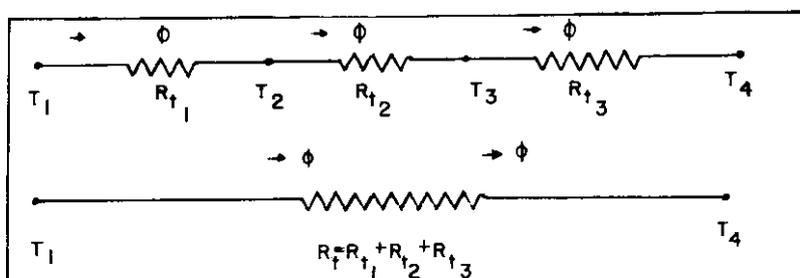


Fig. 2- Associação de resistências térmicas em série.

Por analogia com a lei de Ohm, o fluxo térmico através da parede será dado pela equação 4:

$$\phi = \frac{T_1 - T_4}{R_t} = \frac{T_1 - T_2}{R_{t_1}} = \frac{T_2 - T_3}{R_{t_2}} = \frac{T_3 - T_4}{R_{t_3}} \quad (\text{Fluxo térmico pela parede}). \quad (4)$$

Determinado o fluxo ( $\phi$ ) através da parede que é o mesmo que passa através dos elementos constituintes da parede, em virtude da associação das resistências térmicas serem em série, podemos determinar as temperaturas das superfícies de separação entre os materiais constituintes da parede. Assim temos:

$$T_1 - T_2 = \phi R_{t_1} \quad T_2 = T_1 - \phi R_{t_1}$$

$$T_2 - T_3 = \phi R_{t_2} \quad T_3 = T_2 - \phi R_{t_2}$$

As temperaturas das interfaces ( $T_2$  e  $T_3$ ) e de pontos no interior de uma parede são de grande utilidade na solução de problemas de maior complexidade na transmissão de calor.

Se a parede tiver elementos associados em paralelo, a determinação das grandezas térmicas é bastante simplificada se fizermos a analogia com as grandezas de um circuito elétrico.

A Fig. 3 representa uma parede composta.

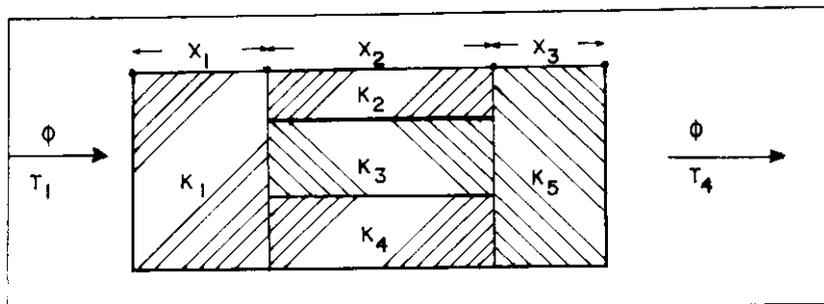


Fig. 3- Parede composta.

Conhecendo-se os materiais constituintes da parede, as suas dimensões e associando as resistências térmicas podemos determinar a corrente térmica através da parede, conforme indica a Fig.4.

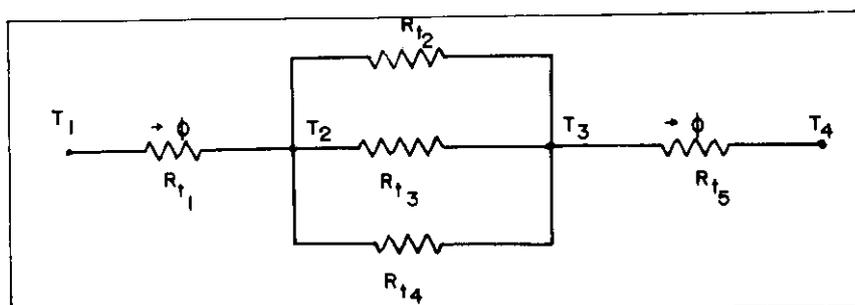


Fig. 4- Associação de resistências térmicas de uma parede composta.

Associando as três resistências em paralelo temos:

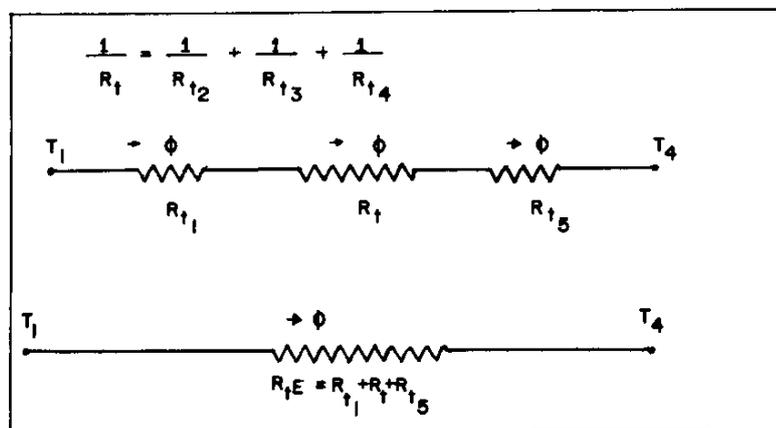


Fig. 5- Associação de resistências térmicas em série.

A equação da corrente térmica ou fluxo de calor em uma transmissão de calor unidimensional e em regime permanente pode ser escrita:

$$\phi = \frac{T_1 - T_4}{\sum R_t}$$

Com o circuito térmico esquematizado e desmembrado, podemos determinar o fluxo calorífico, a quantidade de calor que passa pela parede e pelos seus constituintes, as temperaturas das interfaces e as resistências térmicas. Essas grandezas são elementos importantes na solução de questões complexas da área térmica.

O mesmo tipo de raciocínio pode ser desenvolvido para a transferência de calor por convecção.

Nestes exemplos fica evidente que a analogia é um instrumento importante que o professor pode utilizar em quase todas as áreas da física, tornando o seu ensino mais ameno e eficiente.

### Referências Bibliográficas

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Curso de física**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1981. v. 3.

JORGE, W. Forças resistivas. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 4, n. 1, p. 17-24, 1988.

MARTINS, N. **Introdução à teoria da eletricidade e do magnetismo**. São Paulo: Edgard Blucher, 1975.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. v. 2, 3.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. **Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. v. 2, 3.

TIPLER, P. A. **Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. v. 2.

---

## PENSE E RESPONDA!

---

Talvez você já tenha visto um truque que é feito nos centros das cidades para impressionar pessoas ingênuas (e arrancar algum dinheiro delas...). Trata-se de um dispositivo apoiado no chão por um bastão seguro pelo operador. Na parte superior, geralmente muito enfeitada, existe um tubo de vidro cheio de água em cujo interior se vê um boneco. O operador diz então que o boneco “lê a sorte” das pessoas. Escolhido um voluntário, o boneco sobe e desce pelo tubo, sem razão aparente, no processo de “ler a sorte”. Como é feito este truque? Na verdade, o boneco é oco e parcialmente preenchido com ar (veja a figura). Através de um diafragma de borracha, o operador pode aumentar a pressão da água com a sua mão. Explique o movimento do boneco discriminando as forças que nele atuam.

