



ruep

Revista UNILUS Ensino e Pesquisa  
v. 14, n. 34, jan./mar. 2017  
ISSN 2318-2083 (eletrônico)

ROMUALDO S. SILVA JR.

*Núcleo de Pós-Graduação em Física,  
Departamento de Física, Universidade Federal  
de Sergipe, São Cristóvão - SE.*

*Recebido em janeiro de 2016.  
Aprovado em abril de 2016.*

## ASPECTOS MECÂNICOS E TERMODINÂMICOS NO ATO DE CAMINHAR DE UM INDIVÍDUO

### RESUMO

---

Este trabalho tem por objetivo principal indagar de maneira bem simples alguns aspectos mecânicos e termodinâmicos quando um indivíduo executa uma caminhada. Do ponto de vista mecânico é mostrado as forças existentes quando o indivíduo caminha, sendo horizontais e verticais. Já do ponto de vista termodinâmico, através da primeira lei da termodinâmica é mostrado a relação de energia cinética com energia interna, bem como sua dissipação na vizinhança quando se é executado uma passada completa pelo indivíduo.

**Palavras-Chave:** Aspectos Mecânicos. Termodinâmicos. Caminhada.

## MECHANICAL AND THERMODYNAMIC ASPECTS IN THE WAY OF WALKING AN INDIVIDUAL

### ABSTRACT

---

This work has as main objective to investigate very simply some mechanical and thermodynamic aspects when an individual performs a walk. From the mechanical point of view it is shown the forces existing when the individual walks, being horizontal and vertical. Already from the thermodynamic point of view, through the first law of thermodynamics is shown the relation of kinetic energy with internal energy, as well as its dissipation in the neighborhood when a complete pass is executed by the individual.

**Keywords:** Mechanical Aspects. Thermodynamics. Walking.

Revista UNILUS Ensino e Pesquisa  
Rua Dr. Armando de Salles Oliveira, 150  
Boqueirão - Santos - São Paulo  
11050-071  
<http://revista.lusiada.br/index.php/ruep>  
[revista.unilus@lusiada.br](mailto:revista.unilus@lusiada.br)  
Fone: +55 (13) 3202-4100

## INTRODUÇÃO

Caminhar sem dúvida é uma das atividades mais praticadas por todos nós, por exemplo, quando estamos indo para o trabalho, quando queremos praticar uma atividade física, até mesmo quando estamos em casa, indo de um cômodo para outro. Porém, milhares de pessoas não imaginam como funciona o ato de caminhar, muito menos do ponto de vista Físico, quais as forças e energias estão relacionadas com esse fenômeno humano.

É sabido que em livros didáticos mostra-se que uma pessoa, executando um movimento acelerado, o pé sobre o chão apresenta duas forças, onde uma tem direção para trás e a outra para frente, como pela lei de ação-reação [1, 2]. Porém, as forças verticais quase nunca são expostas nos mesmos, visto que acredito ser tão importante quanto às forças horizontais.

Apesar de este tema ser bastante estudado, decidi escrever este artigo, como forma de facilitar o entendimento por parte de estudantes do ensino básico, bem como demonstrar todas as forças existentes no ato de caminhar que possam ser expressas de forma simples, sem muita complicação. Serão mostrados a seguir alguns aspectos mecânicos e termodinâmicos relacionadas quando um indivíduo executa uma caminhada.

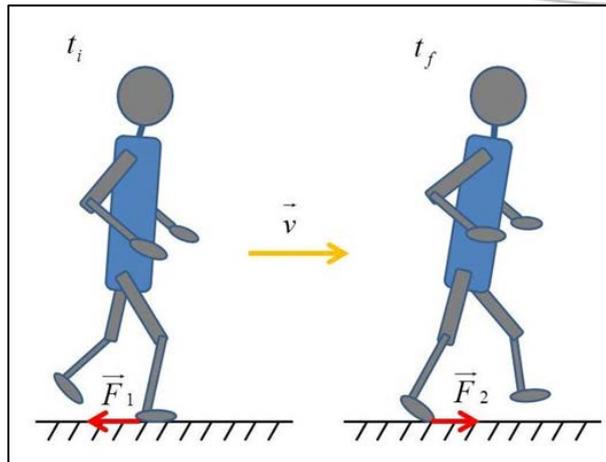
## ALGUNS ASPECTOS MECÂNICOS E TERMODINÂMICOS DA CAMINHADA

Quando falamos em caminhar, nos vem à cabeça um processo no qual desempenhamos uma atividade física. Serão mostrados alguns aspectos importantes e mais evidentes no ato de uma caminhada. Em primeiro lugar, tendo em vista o aspecto mecânico, quando caminhamos uma força é exercida pelo chão no pé (força de ação-reação), e esta tem direção para frente, porém esta é apenas uma parte do que podemos considerar. Em outro intervalo de tempo, existe outra força, em sentido oposto ao da velocidade de caminhada, para trás, que pode ser compreendido na aquisição de aceleração do indivíduo quando se caminha para frente. Desta forma, fica evidente que a força horizontal, é diretamente dependente do tempo, em que em um instante de tempo esta força tem direção para frente, e em outro instante de tempo posterior tem direção para trás.

Além desta força horizontal que o chão exerce sobre o pé do indivíduo quando caminha, existe a componente da força vertical, na direção normal do indivíduo com relação ao chão. Esta força, assim como a força horizontal, também depende do tempo, visto que ora o indivíduo está com o pé sobre o chão e ora superior ao chão, com certa altura média, sendo assim uma força oscilatória vertical com relação ao centro de massa do indivíduo [3]. Suponhamos de maneira simplificada que a força na direção normal é exatamente igual ao peso, permitindo reduzir o problema a uma só dimensão, pois a velocidade do centro de massa é sempre na direção horizontal.

Logo após um tempo bem próximo do início da caminhada do indivíduo, vai existir uma velocidade, chamada de “velocidade de cruzamento”, que varia pouco, em torno de um dado valor. Este valor vai depender da passada do indivíduo, que consiste do ato que quando um pé está fixo no chão, o outro estará no ar, e de forma cíclica, os mesmos invertem as posições de acordo com a velocidade do indivíduo. Quanto maior a velocidade, mais rapidamente essa posição será mudada para que aja o equilíbrio do indivíduo na direção normal, e vice-versa. Em outras palavras, o impulso da força horizontal tem que ser nulo, para que a velocidade final seja igual à velocidade inicial [4].

Figura 1 - Esboço das forças horizontais para trás e para frente, nas duas fases do ato de caminhar do indivíduo.



A Figura 1 representa as forças horizontais que são exercidas no indivíduo, de um instante inicial para um instante posterior, onde em  $t_i$  a força  $\vec{F}_1$  tem direção para trás, e a força  $\vec{F}_2$  tem direção para frente.

Em um ciclo completo, que significa em uma passada na caminhada, que corresponde a um intervalo de tempo  $\Delta t$ , a força horizontal total é nula. Considerando forças constantes, para facilitar o entendimento, bem como as integrais, teríamos as seguintes expressões:

$$\begin{cases} M(v_{1f} - v_{1i}) = -F_1 \Delta t_1 \\ M(v_{2f} - v_{2i}) = F_2 \Delta t_2 \end{cases} \quad (1)$$

Onde  $v_{1f}$  e  $v_{1i}$  são as velocidades finais e iniciais do indivíduo na primeira fase, e  $v_{2f}$  e  $v_{2i}$  são as velocidades finais e iniciais na segunda fase. É fácil ver que a velocidade final da segunda fase será igual à velocidade inicial da primeira fase, e consequentemente a velocidade final da primeira fase será igual à velocidade inicial da segunda fase. De forma análoga, se considerarmos um ciclo posterior, esta consideração será inversa, devido à mudança do pé do indivíduo que estará fixo no chão neste próximo ciclo.

No regime estacionário em que o indivíduo caminha, podemos retirar das equações (1) que:

$$F_1 \Delta t_1 = F_2 \Delta t_2 \quad (2)$$

Ou seja, há uma força negativa e uma força positiva que se anulam, pois no final do ciclo, em uma passada, o momento linear e a energia cinética se conservam (não variam) com relação ao instante inicial.

Agora, do ponto de vista da força vertical, pressupõe-se que a mesma é proporcional ao peso do indivíduo, onde na realidade a força normal também varia com o tempo, no qual essa variação, ou resultante varia ao longo do tempo analogamente ao caso da força horizontal. Se imaginarmos um modelo bem simplório para descrever as componentes das forças verticais, como feito para o caso da força horizontal, teríamos um resultado idêntico, porém agora com uma velocidade  $v_0$ , que é a velocidade média da altura do pé do indivíduo com relação ao chão no ato da caminhada.

Levando em consideração daqui por diante os aspectos termodinâmicos, devemos iniciar nossa discussão tendo em vista o entendimento que quando um indivíduo realiza

uma caminhada, isso só é possível porque o mesmo possui uma fonte interna de energia. Como já se sabe é esta energia interna que se transforma em energia cinética para fazer com que o indivíduo caminhe. Esta ideia merece uma reflexão mais detalhada, pois como já vimos anteriormente, a energia cinética é a mesma no início e no final da passada. Desta forma, podemos nos perguntar: para onde vai a energia que sabemos ser necessária para um indivíduo caminhar? Responder esta pergunta é relativamente simples, basta considerarmos a primeira lei da termodinâmica [5], que pode ser escrita como:

$$\Delta K + \Delta U = W_{ext} + Q \quad (3)$$

Onde  $\Delta K$  é a variação da energia cinética,  $\Delta U$  é a variação da energia interna do sistema,  $W_{ext}$  é o trabalho externo realizado e  $Q$  é o calor que flui entre o sistema e sua vizinhança.

Considerando um ciclo completo, ou seja, quando o indivíduo realiza uma passada, a variação de energia cinética é zero, ou seja,  $\Delta K = 0$ , porém existe a variação de energia interna  $\Delta U$ . Quanto ao lado direito da Eq. (3), o trabalho externo também é nulo [6], desta maneira só teremos  $Q$ , que é o calor que flui na vizinhança, ficando então que  $\Delta U = Q$ , que é uma quantidade menor que zero. Isto quer dizer que a variação de energia interna  $\Delta U$  flui em forma de calor para a vizinhança, ou seja, a variação de energia interna do indivíduo flui para o ar em forma de calor. Podemos imaginar e indagar que é por esse motivo que quando caminhamos liberamos suor, quanto maior a caminhada maior o suor.

Podemos também, verificar de maneira mais detalhada o que se passa em cada uma das fases de um ciclo de caminhada. Considerando a Eq. (3), e para o caso de um ciclo acelerado, como mostra a Figura 1, a energia cinética aumenta, pois, a energia interna é diminuída, enquanto que na outra fase de ciclo, ocorre o inverso, a energia cinética é diminuída, no sentido em que esta é dissipada na vizinhança.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como proposto neste trabalho, foram mostrados de maneira simplória alguns aspectos mecânicos e termodinâmicos envolvidos no ato de caminhar de um indivíduo qualquer. Levando em consideração aspectos mecânicos, podemos comentar das forças que agem no ato do indivíduo caminhar, que são as forças horizontais e verticais. As forças horizontais estão relacionadas com a ação e reação, no sentido em que quando o indivíduo fixa o pé no chão, o mesmo empurra o chão para trás, e por consequência o chão empurra o indivíduo para frente, desta maneira existem duas forças com mesmo módulo, porém com sentidos opostos. Considerando o caso mais simples, em que a força vertical é proporcional ao peso do indivíduo, esta varia em torno de um valor médio, que depende da altura do pé ao chão, no ato da caminhada, sem esquecer que ambas as forças dependem do tempo.

Do ponto de vista Termodinâmico, podemos citar que em uma passada completa a energia interna do indivíduo é dissipada em parte para a vizinhança do mesmo, visto que a variação da energia cinética é conservada, do instante inicial para o final.

É fato que estas considerações são bem simples quando comparado com o que se pode ser feito, visto que a ideia aqui é apenas levar em conta alguns aspectos interessantes, para que alunos do ensino básico possam ter uma ideia, bem como o entendimento de forma geral desta temática. Porém para aqueles que desejam estudar o assunto mais a fundo, de forma mais complexa, os aspectos termodinâmicos mais apropriados seriam com a utilização da energia livre de Gibbs [5], em que agora em um ciclo completo, o indivíduo diminui sua energia livre, e a mesma passará a ser dissipada na vizinhança.

Estudos recentes complementam de forma significativa esta análise, facilitando a compreensão desse fenômeno. Por exemplo, envolvendo rotação e produção de energia mecânica, bem como sua dissipação, descrevendo de forma mais completa ações de

caminhar do indivíduo. Espera-se que este trabalho contribua de alguma forma para o entendimento do fenômeno para aqueles que se sentirem interessados na temática, bem como para futuras contribuições provenientes dos aspectos aqui indagados.

## REFERÊNCIAS

1. FERRARO, N. G.; RAMALHO, F.; SOARES, P. T. Os Fundamentos da Física 1, Mecânica. Ed. Moderna, v. 1, 7a ed. (1999).
2. YOUNG, H. D. e FREEDMAN, R. A. Física I, Mecânica. Pearson, Addison Wesley, v.1, 12a ed. (2008).
3. CROSS, R. Standing, walking, running, and jumping on a force plate. Am. J. Phys. 67, 304-309 (1999).
4. MESSENGER, N. Moving the human machine: understanding the mechanical characteristics of normal human walking. Phys. Educ., 29, 352-357 (1994).
5. GÜÉMEZ, J.; FIOLEHAIS, M. From mechanics to thermodynamics-analysis of selected examples. Eur. J. Phys., 34, 345-357 (2013).
6. LEFF, H. S.; MALLINCKRODT, A. J. Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics. Am. J. Phys., 61, 121-127 (1993).