

EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA MECÂNICA: APLICANDO A HISTÓRIA DA CIÊNCIA EM UMA AULA DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO.

Eder R. S. Garcia¹, Luiz Alberto Mauricio²

¹ CEES - São José dos Campos, ederrsgarcia@yahoo.com.br

²ETEP Faculdades, São José dos Campos, luiz.mauricio@etep.edu.br

Resumo- Este trabalho é uma análise da aplicação da História da Ciência (HC) no ensino do conceito de Energia Mecânica. Para a elaboração do trabalho foi produzido um texto que mostra a história da energia mecânica e seu “conteúdo”. Este texto foi usado com alunos do 1º ano do Ensino Médio, durante uma aula sobre o tema. A avaliação da intervenção é feita através das respostas dos alunos em um questionário que analisou suas impressões quanto à presença da HC na aula. É feita a análise das respostas e na sequência é feita a conclusão do trabalho. Que aponta para uma boa aceitação da HC como ferramenta no ensino de conceitos de física.

Palavras-chave: História da Ciência, ensino de Física

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

Mesmo antes do MEC implantar os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), autoras como Castro e Carvalho (1992) e Vannucchi (1996), já analisavam a importância da História da Ciência (HC), e, propunham modos de inserir a História da Ciência (HC) mais especificamente no Ensino de Física

Este trabalho trata-se da produção e aplicação de um texto que contempla o “conteúdo” de energia mecânica e sua história, pois de modo geral os livros didáticos de Física ainda não associaram a HC ao ensino, como analisa Pagliarini (2007) e nós mesmos pudemos comprovar isto analisando o capítulo que trata sobre energia mecânica na 6ª e na 8ª edição do livro “Os Fundamentos da Física” dos autores Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antônio de Toledo Soares.

O texto que foi trabalhado com os alunos do primeiro ano (D) da Escola Estadual Professora Ruth Coutinho Sobreiro, está exposto a seguir. A avaliação da proposta de trabalho foi feita através de um questionário dado aos alunos, com o objetivo de analisar suas impressões a respeito da abordagem histórica do conteúdo de Física.

Metodologia: O desenvolvimento do conceito de energia mecânica

No ano de 1638 foi publicado os *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti allá Meccanica ed ai Movimenti*

Locali (Discursos), último e mais importante obra de Galileu Galilei (1564-1642).

Os *Discursos* é formado originalmente de quatro jornadas, onde Galileu, por meio de três personagens, discute sobre alguns assuntos da mecânica que conhecemos hoje.

Para este trabalho o interesse está na terceira jornada, pois é nela que acontece a análise sobre movimentos acelerados e onde há uma avaliação sobre uma idéia parecida com nosso atual conceito de energia mecânica.

Após um grande debate entre os três personagens (Sagredo, Salviati e Simplicio) sobre a queda de um corpo e sua aceleração durante o trajeto, Sagredo chega a seguinte definição:

“Chamamos movimento igualmente, ou seja, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade” (GALILEU, 1935, p.133).

A partir da definição anterior, Salviati conclui que o seguinte princípio é verdadeiro:

“Os graus de velocidade alcançados por um mesmo móvel em planos diferentemente inclinados são iguais quando as alturas desses planos são iguais” (GALILEU, 1935, p.133).

Para exemplificar a citação passada, usaremos uma figura colocada no próprio *Discursos* (Fig. 1).

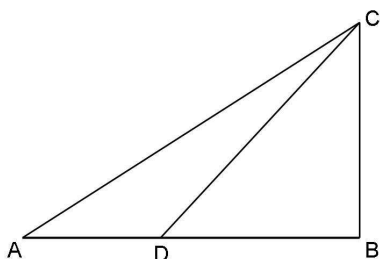


Figura 1 - Diferentes trajetórias para a queda do corpo

Observando a figura, conclui-se que o texto diz, que se um móvel for solto em “C” ele chegará com a mesma velocidade em “A”, “D” ou “B” pois suas alturas são as mesmas. Com isso Sagredo diz que “suprimidos os obstáculos e impedimentos, a luz natural mostra-me sem dificuldade que uma bola pesada e perfeitamente redonda, descendo ao longo das linhas CA, CD, CB, chegaria aos pontos A, D, B, com ímpetos iguais” (GALILEU, 1935, p.133).

A idéia de em diferentes trajetórias o corpo chegar com **ímpetos iguais** é claramente a de conservação da energia, neste caso energia mecânica. Para encerrar a discussão e provar a proposta de Sagredo por meio de um experimento, Salviati propõe a idéia mostrada na Fig. 2.

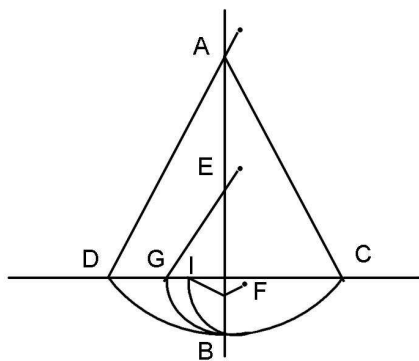


Figura 2 - Pêndulo usado para demonstrar a conservação do ímpeto

A Figura 2 mostra um pêndulo fixado em uma parede, tendo um fio muito fino AB, perpendicular ao horizonte, e desenha-se na parede uma linha horizontal DC que corta em ângulo reto a perpendicular AB. Conduzindo posteriormente o fio AB com a bola até AC, solta-se essa bola; num primeiro momento veremos que ela desce descrevendo o arco BD, que chegará quase à paralela traçada CD, não chegando a tocá-la por um pequeno intervalo, o que é causado pela resistência que opõem o ar e o fio (GALILEU, 1935, p.134). Agora se colocando um prego na posição E ou F, a fim de que o fio AC, voltando a

conduzir como antes a bola C pelo CB, encontre, quando chegar a B, o prego E, sendo a bola obrigada a descrever a circunferência BG com centro em E. Com a bola fazendo o arco BG, na altura CD, nos levando a concluir que nas duas trajetórias a bola tem a mesma energia, ou como segundo Salviati o mesmo ímpeto. Se considerarmos o prego na posição F, a bola fará o arco BI, chegando mais uma vez à altura CD. Estando assim demonstrada a conservação da energia (mecânica).

Segundo Kuhn (2005, p.157) esta observação chave de Galileu que serviu de base para os trabalhos sobre o assunto posteriormente, não surgiu de repente:

Galileu não recebeu uma formação totalmente aristotélica (para os aristotélicos um corpo pesado é movido pela sua própria natureza de uma posição mais elevada para uma mais baixa, onde alcança um estado de repouso natural). Ao contrário, foi treinado para analisar o movimento em termos da teoria do *impetus*, um paradigma do final da Idade Média que afirmava que o movimento contínuo de um corpo pesado é devido a um poder interno, implantado no corpo pelo propulsor que iniciou seu movimento. João de Buridan (1295-1358) e Nicolau Oresme (1330-1382), escolásticos do século XIV, que deram à teoria do *impetus* as suas formulações mais perfeitas, foram, ao que se sabe, os primeiros a ver nos movimentos oscilatórios algo do que Galileu veria mais tarde nesses fenômenos.

Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) fez uma contribuição importante para nosso entendimento sobre a energia mecânica, ele descobriu o termo v^2 da equação da energia cinética ($\frac{1}{2}m.v^2$), ele expõe sua descoberta em seu *Discurso de Metafísica* de 1686, no texto Leibniz corrigi Descartes e seus seguidores, pois estes acreditavam que a quantidade de movimento (produto da massa pela velocidade) tinha o mesmo significado que a energia.

Leibniz parte de uma demonstração para provar a diferença entre quantidade de movimento e energia, ele supõe ser necessária tanta força para elevar um corpo A, de uma libra (1 libra = 453,59237 g) à altura CD de quatro toesas (1 toesa = 1,98 m), quanta para elevar um corpo B, de quatro libras, à altura EF de uma toesa (LEIBNIZ, 1952). Dessa forma a energia em ambos os lados é a mesma. Com isso Leibniz compara as equações da quantidade de movimento e as energias.

Já foi demonstrado por Galileu ser a velocidade adquirida pela queda CD dupla da velocidade obtida pela queda EF, se bem que a altura seja quádrupla (LEIBNIZ, 1952), Galileu também

mostrou que a velocidade de um objeto em queda livre e a distância por ele percorrida estão relacionadas através da relação: $v^2 \propto d$ (PEDUZZI, 2008).

Então considerando a massa do corpo A como 1 e sua velocidade como 2, sua quantidade de movimento é 2; sendo a massa do corpo B 4 e sua velocidade 1, sua quantidade de movimento é 4, o dobro da do corpo A.

Leibniz nos mostra que a energia depende da velocidade, mas não é um produto simples entre ela e a massa do objeto, a demonstração matemática seria a seguinte (PEDUZZI, 2008):

a força é uma função da velocidade,

$$F = m.f(v) \quad (i)$$

$$m_A f(v_A) = m_B f(v_B) \quad (ii)$$

Como foi dito anteriormente,

$$v^2 \propto d \quad (iii)$$

Para os corpos A e B tem-se, então, que:

$$v_A^2 \propto 4h \quad (iv)$$

e

$$v_B^2 \propto h \quad (v)$$

Dividindo-se (iv) por (v), obtém-se

$$\frac{v_A^2}{v_B^2} = 4, \quad v_A = 2v_B. \quad (vi)$$

De (vi) em (ii), tornando-se explícita a relação entre as massas, resulta

$$mf(2v_B) = 4mf(v_B),$$

$$f(2v_B) = 4f(v_B) \quad (vii)$$

Sendo

$$f(v) \propto v^2 \quad (viii)$$

O que nos leva a:

$$f(v_B) \propto v_B^2, \quad (ix)$$

$$f(2v_B) \propto 4v_B^2 \quad (x)$$

Dividindo-se (iv) por (v), temos

$$\frac{f(2v_B)}{f(v_B)} = 4 \quad \text{ou} \quad f(2v_B) = 4f(v_B) \quad (vi)$$

O que nos dá a equação (vii).

Desse modo, o que se constitui na medida de uma 'força', para Leibniz, a menos de uma constante, é o produto, já que de (viii) em (i) resulta (PEDUZZI, 2008), o que Leibniz chama de 'força de um corpo' está, na verdade, bem próximo do que hoje se denomina energia cinética (PEDUZZI, 2008).

$$F \propto m.v^2.$$

Segundo Gaspar (2000) e Oliveira (2006), o fator $\frac{1}{2}$ que multiplica o produto $m.v^2$ (na equação da energia cinética que conhecemos) apareceu a partir das leis do movimento e surgiu da demonstração feita pela primeira vez pelo físico

francês Gaspard de Coriolis (1792-1843) em seu *Du calcul de l'effet des machines* de 1829 (Sobre o Cálculo do Efeito das Máquinas).

A demonstração (GASPAR, 2000) é feita sobre a relação trabalho e energia cinética, desenvolvida a partir da Fig. 3.

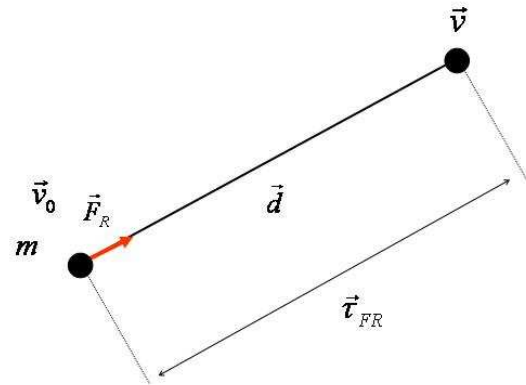


Figura 3 - A força resultante \vec{F}_R aplicada ao corpo de massa m ao longo do deslocamento \vec{d} faz a velocidade desse corpo variar de \vec{v}_0 a \vec{v} .

O trabalho da força resultante \vec{F}_R ($\tau_{FR} = F_R.d.\cos\alpha$) que atua sobre o corpo de massa m ao longo do deslocamento \vec{d} , supondo que ambos tenham a mesma direção e sentido ($\cos\alpha = 1$), é:

$$\tau_{FR} = F_R.d \quad (i)$$

Da Segunda Lei de Newton ($F_R = m.a$), podemos escrever.

$$\tau_{FR} = m.a.d \quad (ii)$$

Da "equação de Torricelli" ($v^2 = v_0^2 + 2.a.\Delta x$), fazendo $d = \Delta x$, podemos escrever:

$$d = \frac{v^2 - v_0^2}{2.a} \quad (iii)$$

Substituindo iii em ii, obtemos:

$$\tau_{FR} = m.a \frac{v^2 - v_0^2}{2.a} \Rightarrow \tau_{FR} = m \frac{v^2 - v_0^2}{2}$$

$$\Rightarrow \tau_{FR} = m \left(\frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} \right) \quad (iv)$$

Que pode ser escrita na forma:

$$\tau_{FR} = \frac{1}{2} m.v^2 - \frac{1}{2} m.v_0^2.$$

Como já foi dito Leibniz chamava o termo $m.v^2$ de força, não como nós a entendemos hoje, mas uma força viva (vis viva), a palavra energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida

pelo médico e físico inglês Thomas Young (1773-1829). A opção de Young pelo termo energia está diretamente relacionada com a concepção que ele tinha de que a energia informa a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico, e receberá a denominação moderna de “energia cinética” só a partir de Lord Kelvin (1824-1907) (Wilson, 1968 apud BUCUSSI, 2006).

Em 1803 Lazare Carnot (1753-1823), elaborou o que seria o precursor do conceito de energia potencial: a *vis viva* “latente”. Carnot argumentava que todo corpo a certa altura do chão possuía *vis viva*, pois poderia cair e entrar em movimento (BUCUSSI, 2006). Segundo TRIGUEIROS (1973), William Rankine (1820- 1872) retomou o termo energia em 1857 para criar a nova expressão energia latente ou potencial, definindo assim o nosso atual conceito de energia potencial, tanto gravitacional quanto elástica.

Paralelamente ao desenvolvimento dos conceitos de energia cinética e potencial, o conceito de energia mecânica e sua conservação, que engloba os dois conceitos também estava sendo desenvolvido; em 1738, Daniel Bernoulli (1700- 1782), acrescentava: “...a conservação da *vis viva* é a igualdade da descida real com a ascensão potencial” (KUHN, 1977, p.121 apud BUCUSSI, 2006), Joseph Louis Lagrange (1736-1813) usou em 1788 a idéia de Bernoulli como ponto de apoio na formulação da sua Mecânica, ano em que estabelece o que entendemos hoje como o princípio da conservação da energia mecânica (TRIGUEIROS, 1973; BUCUSSI, 2006).

Resultados e Discussão

A tabela 1 nos mostra as respostas dos alunos quando questionados se: A contribuição dada pelo ensino do conceito de energia mecânica a partir do seu desenvolvimento histórico contribuiu para o seu entendimento?

Tabela 1 - Respostas da questão 1.

muito	pouco	nada	parcialmente
13	3	0	2

Havia um espaço para que os alunos justificassem sua resposta se achasse necessário, mas apenas três alunos fizeram isto, um deles justifica sua resposta de que a abordagem contribui muito para o seu entendimento da seguinte forma: “Por que sabemos se tal objeto for largado em qualquer ângulo ele sempre terá a mesma velocidade” (extraída *ipsis litteris* da resposta do aluno). Observa-se que o aluno tenta explicar a observação de Galileu de que “os graus de velocidade alcançados por um mesmo móvel

em planos diferentemente inclinados são iguais quando as alturas desses planos são iguais” (GALILEU, 1935, p.133).

A análise das respostas da questão 1 nos leva a crer que a observação de Carvalho *et al* (1990, p.67) de que a abordagem histórica pode contribuir para que o discurso científico se transforme em um discurso passível de entendimento por parte do estudante é válida.

A questão 2 era a seguinte: Você acha importante saber como a Física se desenvolveu? E as alternativas eram (a) acho pouco importante, (b) acho muito importante, (c) acho importante e (d) acho nada importante. As respostas foram as seguintes:

Tabela 2 - Resposta da questão 2

(a)	(b)	(c)	(d)
3	9	6	0

Um dos objetivos do trabalho era incrementar a cultura geral dos alunos, este objetivo parece ter sido atingido, podemos exemplificar isso com a resposta de uma aluna que foi a seguinte: “Porque isso faz parte da física” (extraída *ipsis litteris* da resposta da aluna), a observação da aluna AF está de acordo com a crítica de Kuhn (1970) ao manual científico (que não difere do livro analisado neste trabalho) que dissocia a história da física da física.

Na terceira questão a intenção foi avaliar a qualidade da (aula) dada aos alunos, a pergunta foi: Qual é a sua avaliação sobre a apresentação feita? As respostas estão na tabela 3

Tabela 1 - Respostas da questão 3

ruim	regular	boa	ótima
0	0	8	10

A quarta questão era: A apresentação fez com que você percebesse que o conhecimento físico é um processo histórico e objeto de contínua transformação?

As respostas estão na tabela 4 e a análise percentual dos dados da quarta questão (Fig. 7) que analisou se os alunos entenderam a mutabilidade da ciência, também foi muito positiva.

Tabela 4 - Respostas da questão 4

não	um pouco	sim	totalmente
0	1	11	6

O entendimento dos alunos quanto a mutabilidade da ciência, também foi muito positivo. Por

exemplo, um dos alunos respondeu que a aula contribui totalmente para que percebesse esta mutabilidade, justificou sua resposta da seguinte forma: “Sim, pois desde o início pessoas já quebravam a cabeça para entender certas coisas e hoje em dia não mudou nada um exemplo seu trabalho”. Concordando com a preocupação dos PCNEM de mostrar que a física não é “...um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein” (BRASIL, 1999, p. 22), fato que contribui para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver na Física (BRASIL, 1999, p. 22).

Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma forma alternativa de abordar o conceito de energia mecânica, visando melhorar a compreensão deste conteúdo e ampliar o conhecimento do aluno quanto a Física e sobre a Física. Os resultados basearam-se nas opiniões dos alunos, como mostra as respostas ao questionário e análise destas.

Não se pode comparar esta abordagem com a tradicional no escopo deste trabalho, pois seriam necessárias mais intervenções no plano de aula de outro professor, atrapalhando de certa forma o planejamento dele. Avaliando as respostas dos alunos, a abordagem histórica parece ser uma ferramenta muito eficiente, pois além de ensinar o conteúdo tradicional levou para os alunos um novo conteúdo, a história da Física, sem prejudicar o pouco tempo que se tem de aula.

Não se pode dizer que a participação dos alunos na aula da forma que ocorreu é de total mérito da HC, já que haviam apenas dezoito alunos na aula e talvez estes fossem os “melhores” da turma, mas que a presença de algo novo na aula de Física, atraiu o interesse deles, é inegável.

Assim, por tudo que foi exposto, se considera que os resultados foram satisfatórios pois conseguiu-se propiciar um aprendizado significativo das equações, incrementar a cultura geral do aluno e mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são “definitivas e irrevogáveis”, mas objeto de constante revisão.

Referências

BARBOSA, J . P. V.; BORGES, A. T. **O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio**. Florianópolis: Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.23, n.2: p.182-217, ago.2006.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1999.

BUCUSSI, A. A. Introdução ao conceito de energia. **Textos de apoio ao professor de física**. Porto Alegre, v.17, n.3, 2006.

CARVALHO, A. M. P. ; LABURU, C. E. ; SILVA, D. ; MORTIMER, E. F. ; GONÇALVES, M. E. R. ; TEIXEIRA, O. ; ITACARAMBI, R. ; CASTRO, R.S. . **O construtivismo e o ensino de ciências**. In: LIMA, Magda M. S.; KIOURANIS, Neide M. M.; GONÇALVES, Regina C. E. G.; ALENCAR, Selva M. A.. (Org.). Ciências na escola de primeiro grau. São Paulo: Secretaria do Estado da Educação, 1990, v. , p. 63-73.

CASTRO, R. S.; CARVALHO, A. M. P. **História da ciência: investigando como usa-la num curso de segundo grau**. Florianópolis: Caderno Catarinense de Ensino de Física. v.9, n.3: p.225-237, dez.1992.

DIAS, P. M. C. **A (im) pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso)**. São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física. v.23, n. 2: p. 226-235, jun. 2001.

FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; SANTOS, J. I. C; RAMALHO Jr., F. **Fundamentos da Física: mecânica**. 6 ed. São Paulo: Moderna, 1993.

_____. **Fundamentos da Física: mecânica**. 8 ed. São Paulo: Moderna, 2003.

FINI, M. I. (coord.). **Proposta Curricular do Estado de São Pulo: Física**. São Paulo: SEE, 2008.

GALILEI, Galileu. **Dois novas ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1985. Tradução de *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti allá Meccanica ed ai Movimenti Locali*. Florença: Adriano Salani, Editore, 1935.

GASPAR, Alberto. **Física 1:mecânica**. São Paulo: Ática, 2000.

GEBARA, M. J. F. **O ensino e a aprendizagem de física: contribuições da história da ciência e das concepções alternativas. Um estudo de caso**. Campinas: UNICAMP – Dissertação de mestrado, 2001.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C. **Os prós e contras da utilização da história da ciência no ensino da física**. X V I Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005.

JACQUES, V.; ALVES FILHO, J. P. **O conceito de energia: os livros didáticos e as concepções alternativas.** Curitiba: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 9 ed. São Paulo: Perspectiva. 2005. Tradução de *The structure of scientific revolutions.* Chicago: The University of Chicago, 1970.

LEIBNIZ, G. W. **Os Pensadores: Discurso de Metafísica.** São Paulo: Abril, 1974. Tradução de *Discours de Metaphysique.* Paris: Vrin, 1952, p. 90-92.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J.J. **Contribuições da história da ciência no ensino de ciências: alternativas de inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio.** ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, n. extra: p. 1-4, 2005.

MARTINS, R. A. **Como não escrever sobre história da física - um manifesto historiográfico.** São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física. v.23, n. 1: p. 113-128, mar. 2001.

OLIVEIRA, Agamenon R. E. **A evolução do conceito físico de trabalho no contexto das máquinas.** Rio de Janeiro: UFRJ - Tese de doutorado, 2006.

PAGLIARINI, C. R. **Uma análise da história da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio.** São Carlos: USP – Dissertação de mestrado, 2007.

PEDUZZI, Luiz O. Q. **Evolução dos conceitos da física: Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana.** Florianópolis: UFSC – Departamento de Física (publicação interna), 2008.

_____. **Sobre a utilização didática da história da ciência.** In: Maurício Pietrocola. (Org.). Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001, v. , p. 151-170.

RIBEIRO, R. M. L.; MARTINS, I. **O potencial das narrativas como recurso para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos de física.** Bauru: Ciência & Educação. v.13, n.3 293-309, 2007.

TRIGUEIROS, M. O conceito de energia. **Boletim do ensino secundário.** Lisboa, 1973.

VANNUCCHI, A. I. **História e filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula.** São Paulo: USP – Dissertação de mestrado, 1996.