



# Pilates: Um olhar da física

.....  
**Márcia Maria Lucchese**

Universidade Federal do Pampa,  
Campus Bagé, Bagé, RS, Brasil

**Guilherme Frederico Marranghello**

Universidade Federal do Pampa,  
Campus Bagé, Bagé, RS, Brasil  
E-mail: gfmarranghello@gmail.com

**Fábio Saraiva da Rocha**

Centro de Integração do Mercosul,  
Universidade Federal de Pelotas,  
Eldorado do Sul, RS, Brasil  
.....

## Introdução

Diversas atividades humanas são muito repetitivas. Por exemplo, passamos horas no computador, ou em pé, praticando atividades de esforços repetitivos. Com o passar do tempo e com a idade sentem-se dores e desconforto. Com o objetivo de ajudar a minimizar esse quadro e adquirir uma melhor postura e qualidade de vida, as pessoas recorrem às atividades propostas por Joseph Pilates no início da década de 1920.

O Pilates tem como base um conceito denominado de contrologia, que é o controle consciente de todos os movimentos musculares do corpo.

É a correta utilização e aplicação dos mais importantes princípios das forças que atuam em cada um dos ossos do esqueleto humano, com o

conhecimento dos mecanismos funcionais do corpo e o entendimento dos princípios de equilíbrio e gravidade aplicados a cada movimento (no estado ativo, em repouso e dormindo). O método indicado por Pilates fortalece a musculatura abdominal, dorsal e a coluna vertebral, além de apontar exercícios para o corpo todo [1].

A execução das atividades pode ser feita tanto com poucos acessórios quanto com aparelhos constituídos de molas e roldanas que promovem um aumento na carga do exercício, possibilitando movimentos para vários grupamentos musculares. Com o objetivo de analisar os movimentos desenvolvidos em dois tipos de aparelhos, o Reformer e a cadeira Combo, elaborados para a execução das atividades do Pilates, este trabalho propõe-

se a identificar e estudar a física presente na mecânica dos aparelhos. Serão analisados em especial a lei de Hooke, sistemas de molas, alavancas, roldanas e torque. O objetivo dessa análise está em demonstrar como distintas construções de sistemas que envolvem massas e roldanas podem gerar exercícios mais ricos e desafiadores para as aulas de física.

## Contextualização histórica e aparelhos

O método Pilates® foi criado por Joseph Hubertus Pilates. Nascido na Alemanha em 1880, tinha saúde frágil na infância e para remediar sua condição

dedicou-se a praticar inúmeras atividades físicas, como ginástica, mergulho, esqui e boxe. Era um autodidata conhecedor de fisiologia, anatomia e da medicina tradicional chine-

nesa, além de estudar ioga, artes marciais e o movimento dos animais. Durante a Primeira Guerra Mundial, Pilates, então com 32 anos, vivia na Inglaterra, estudava boxe, trabalhava como instrutor da equipe da Scotland Yard e ainda era artista de circo. Foi então considerado inimigo estrangeiro e preso em um campo de concentração com seus colegas do circo. Confinado no campo de concentração, ele atuou como enfermeiro, auxiliou na recuperação dos feridos e desenvolveu o método Pilates com o que

tinha disponível na enfermaria. Os equipamentos usados hoje são semelhantes aos criados por ele nessa época. O método Pilates foi reconhecido quando vítimas da epi-

demia do vírus Influenza morreram e apenas os internos treinados por Pilates não foram infectados. Pilates morreu em 1967,

**O método Pilates foi reconhecido quando vítimas da epidemia do vírus Influenza morreram e apenas os internos treinados por Pilates não foram infectados**

**O Pilates tem como base um conceito denominado de contrologia, que é o controle consciente de todos os movimentos musculares do corpo**

Este trabalho apresenta uma discussão sobre aspectos físicos de mecânica clássica envolvidos em equipamentos usados no método Pilates. Esses equipamentos têm seus princípios de funcionamento baseados na resistência de molas e alavancas que permitem ao executor do exercício diversos movimentos com graus variados de empenho de força. No Pilates é possível encontrar cinco cores para cinco molas com intensidades diferentes nos aparelhos: prata, vermelha, verde, azul e amarela, sendo a de cor prata a mais resistente e a amarela a de menor resistência. Em especial discutimos o comportamento da grandeza força em função da configuração mecânica do equipamento.

com 87 anos.

Com a popularização das atividades e dos equipamentos desenvolvidos por Pilates, várias empresas passaram a promover cursos e desenvolver equipamentos necessários para a realização dos exercícios. Neste trabalho usamos como exemplo os equipamentos desenvolvidos pela empresa *PhysioPilates*. Nas Figs. 1 e 2 estão os equipamentos Reformer e cadeira Combo, vendidos pela empresa, e que foram objetos de estudo neste trabalho.

O aparelho da Fig. 1(a), denominado Reformer, consiste em um carrinho disposto sobre um trilho e preso a um sistema de molas. O usuário pratica extensão nas molas, sofrendo a ação da força das diferentes associações de molas que possuem diferentes constantes elásticas. Veja a Fig. 1(b). Esse aparelho também possui em um sistema de roldanas ajustáveis.

A Fig. 2 mostra o equipamento cadeira Combo. Segundo informação do fabricante, nessa cadeira também é possível alterar o sistema de molas, promovendo diversas gradações de esforço.

## A mecânica do sistema

### O sistema de molas

Hooke deixou um legado na física explicando o funcionamento das molas. Sua lei é bastante conhecida e é trabalhada desde o Ensino Médio [2].

$$F = k(x - x_0) \quad (1)$$

Nessa equação  $x_0$  representa a posição de equilíbrio da mola,  $x$  a posição final,  $k$  a constante elástica e  $F$  a força resultante.

A descrição das molas comercializadas pela empresa *PhysioPilates* apresenta molas feitas de aço carbono niquelado. Essas molas são fixadas com ganchos coloridos que identificam sua constante elástica.

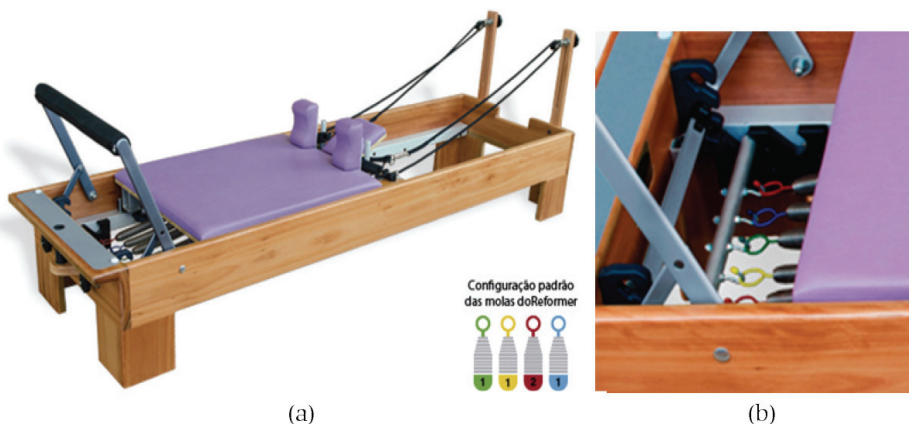


Figura 1: (a) Aparelho Reformer constituído de molas resistivas e roldanas e (b) os detalhes da associação de molas.

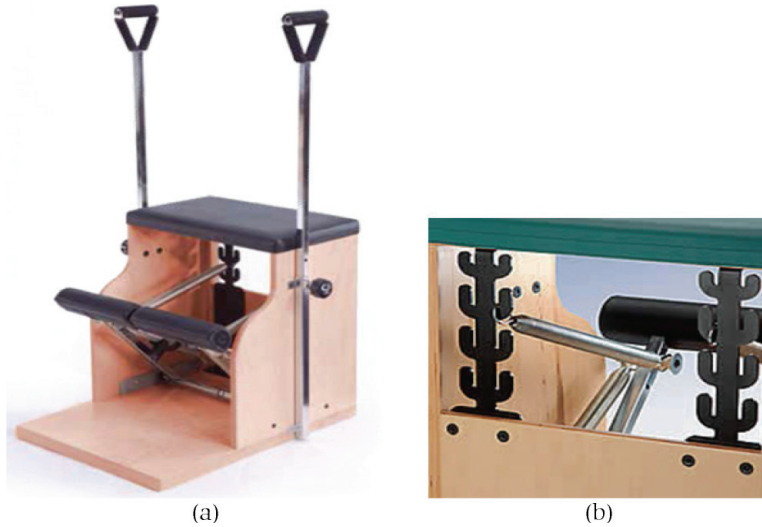


Figura 2: Cadeira Combo em (a) e em (b) a ampliação do detalhe do sistema de molas.

Quanto maior a constante elástica, maior será a força necessária para deslocar a mola do equilíbrio. A Fig. 3 apresenta um gráfico da força de resistência da mola em relação à sua elongação. A partir desse gráfico podemos inferir que os valores para as constantes das molas são: 220 N/m para a mola vermelha, 128 N/m para a mola azul e 88 N/m para a mola amarela.

Com o deslocamento do carrinho, ocorre a mesma elongação para as diferentes molas presas ao sistema, assim podemos calcular uma constante elástica equivalente, que corresponderia ao caso onde apenas uma mola estivesse presa, representando todo o sistema:

$$F = k_1x + k_2x \quad (2)$$

Para o caso de duas molas com  $k$ s diferentes, o resultado fica:

$$F = (k_1 + k_2)x \quad (3)$$

E assim, um  $k$  equivalente seria:

$$k = k_1 + k_2 \quad (4)$$

Com duas molas com mesma cor, isto é, com mesma constante elástica teríamos:

$$k = k_1 + k_2 = k_1 + k_1 = 2k_1 \quad (5)$$

Nesse caso, o sistema exige o dobro de força para promover a mesma elongação que o sistema no qual apenas uma mola está presa.

### Sistema de roldanas e molas

Conforme sugere a Fig. 4, o Reformer apresenta um sistema de roldanas que pode ser utilizado para movimentar um carrinho. Durante a execução do exercício pode-se fazer diferentes movimentos que acarretarão em diferentes orientações para as cordas; entretanto, o trecho de corda que vai da roldana ao carrinho apresenta sempre o mesmo movimento e é nesse movimento que deteremos nossa atenção.

Pode-se descrever, de forma simplificada, que a corda consiste na hipotenusa de um triângulo retângulo cujos catetos são: o trecho de movimentação do carrinho (que chamaremos de cateto adjacente ao ângulo formado com a corda) e a altura da roldana (que chamaremos de cateto oposto). Veja a Fig. 5.

O exercício físico torna-se exigente na medida em que o carrinho estica as molas, pois maior deve ser a força para movimentá-lo. Ainda, conforme o carrinho avança, o cateto adjacente diminui. Como o carrinho tem seu movimento restrito ao trilho, apenas a componente horizontal da tensão da corda serve para movimentá-lo e, com a diminuição desse cateto, a tensão vai ficando cada vez mais próxima da vertical. Reunindo essas informações, a força feita por quem executa esse movimento pode ser descrita pelas equações a seguir.

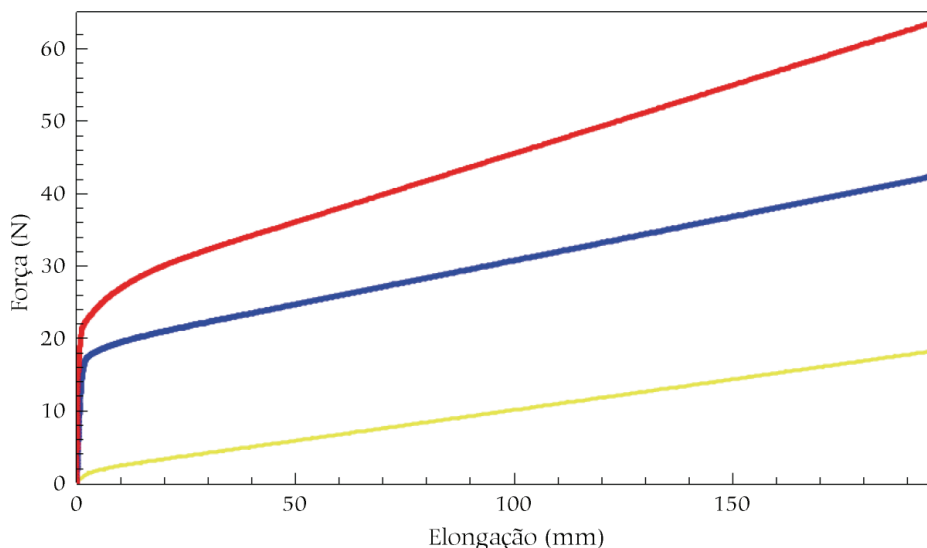


Figura 3: gráfico da força de resistência da mola, força elástica (N) em relação à sua elongação (mm).



Figura 4: Execução do movimento no aparelho Reformer.

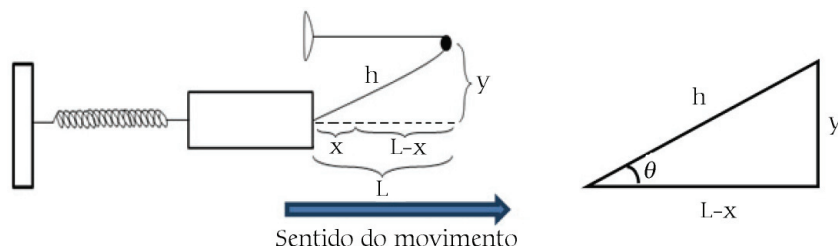


Figura 5: Detalhe do diagrama esquemático da execução do aparelho Reformer.

O deslocamento do carrinho pode ser descrito pelo Teorema de Pitágoras:

$$h = \sqrt{y^2 + (L-x)^2} \quad (6)$$

Nas Eqs. (7) e (8) estão as relações trigonométricas:

$$\sin\theta = \frac{y}{h} \quad (7)$$

$$\cos\theta = \frac{L-x}{h} \quad (8)$$

Temos que a força exercida pelo executor do movimento é igual à tensão na corda, assim:

$$F = T \quad \text{e} \quad T_x = F_m \quad (9)$$

Partindo de uma posição  $x_0 = 0$  a força será:

$$T \cos\theta = kx \quad (10)$$

isolando a força,

$$F = \frac{kx}{\cos\theta} \quad (11)$$

E assim, substituindo as Eqs. (6) e (8) na Eq. (11), a força que o executor do movimento deverá fazer na mola será igual a:

$$F = \frac{kx\sqrt{y^2 + (L-x)^2}}{L-x} \quad (12)$$

A Fig. 6 mostra o comportamento gráfico da expressão da força que deverá ser feita para deslocar o carrinho no aparelho Reformer.

Apesar da força que uma mola exerce ser linearmente proporcional à sua elongação, o sistema montado para o exercício de Pilates proporciona algumas variações. No caso acima, a corda é puxada, em regime de variação aproximadamente linear com relação ao deslocamento; entretanto, conforme a parte móvel da cama se aproxima de seu limite, a corda vai sendo desviada da direção do deslocamento, exigindo maior força do executor do movimento. Nesse trecho final a força que o praticante do exercício deve exercer para continuar o movimento cresce num regime não linear.

### Sistema de alavancas e molas

Outros exercícios podem ser realizados com o auxílio de alavancas associadas a molas. Um destes, utilizando a cadeira Combo, pode ser visto na Fig. 7(a) e o diagrama esquemático das molas se observa em detalhes na Fig. 7(b).

Podemos analisar o sistema de molas da Fig. 7(b) e ter resultados diferentes para o comportamento da força, se comparados com os resultados do sistema Reformer. As diferenças, nesse caso, dizem respeito à alavanca e à posição onde as molas são fixadas.

Analisemos inicialmente a questão da alavanca. Como ela irá girar ao redor de um eixo, não devemos mais nos restringir a falar apenas sobre a força; devemos agora falar também do torque. Nos exercícios em que se está com o pé sobre a barra, o peso do corpo somado à força exercida diretamente na alavanca gera o torque.



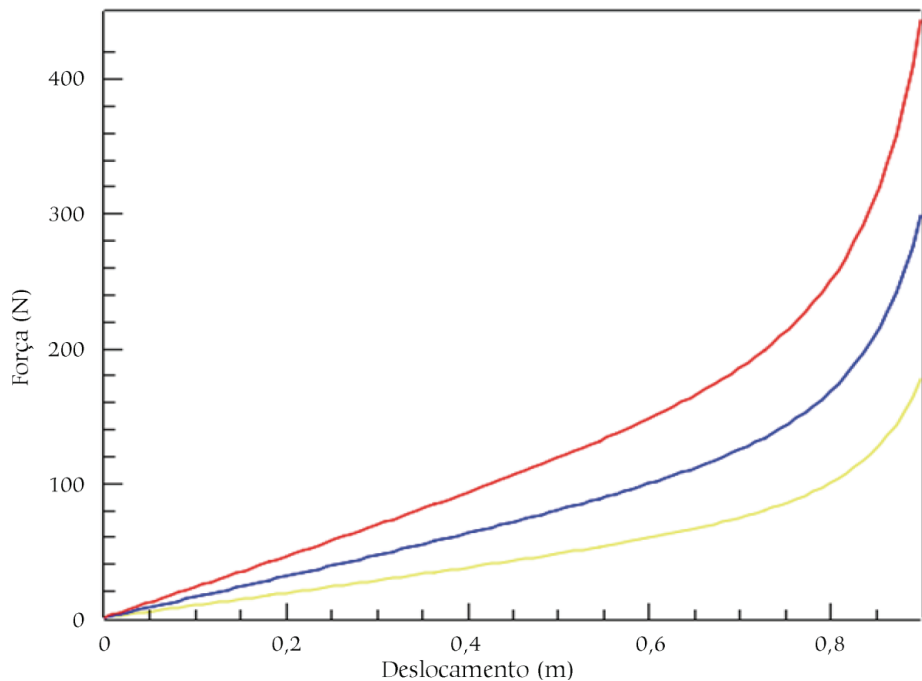
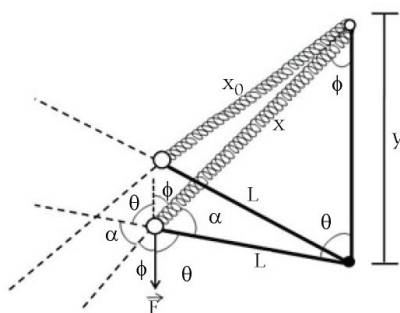


Figura 6: Gráfico relativo à equação da força na Eq. (12), com  $l = 1$  m e  $y = 0,2$  m.



(a)



(b)

Figura 7: Em (a) a foto da cadeira Combo em execução e em (b) o diagrama esquemático das dimensões de comprimentos e ângulos, forças e torques envolvidos.

Entretanto, apenas uma componente dessa força vai exercer um torque no sistema. Quanto mais alto (menor elongação da mola) estiver o ponto de aplicação em relação ao solo, mais se está alinhado com a alavanca e menor será o torque causado pela força; também menor é a força da mola. Conforme a alavanca desce, maior a componente da força que causa torque no sistema e assim também maior será a força feita pela mola.

Ainda é necessário avaliar outra questão, pois, conforme podemos observar na Fig. 2(b), a mola pode ser fixada em diferentes posições, o que acarretará em uma elongação diferente para o mesmo movimento e uma diferença na componente da força responsável pelo torque causado na alavanca. Como exemplo, dois casos extremos:

- 1) Quando a mola está presa no estágio mais alto, praticamente toda a força da mola exerce um torque; entretanto, conforme a alavanca gira, a força vai se alinhando com a mesma e menor será a componente da força elástica que exerce o torque. Neste caso, a mola apresenta uma grande elongação ao final do movimento;
- 2) Quando a mola está presa mais abaixo, ela estará mais alinhada com a alavanca e será menor a componente da força elástica que gera torque. Conforme a alavanca gira, menor ainda será a componente da força da mola responsável pelo torque. Neste caso, a elongação final da mola é menor que no caso anterior.

Assim, combinando os fatores geométricos, verificamos que o deslocamento da mola está relacionado com os parâmetros do aparelho por:

$$x^2 = L^2 + y^2 - 2L \cos\theta \quad (13)$$

Nesse aparelho, é necessário fazermos uma análise dos torques causados pela ação do sujeito e da mola. São esses torques que devem estar em equilíbrio durante o exercício.

$$\tau_F = FL \sin(180^\circ - \theta) \quad (14)$$

$$\tau_m = k(x - x_0)L \sin(\theta + \phi) \quad (15)$$

$$k(x - x_0)L \sin(\theta + \phi) = FL \sin(180^\circ - \theta) \quad (16)$$

É possível perceber que o tamanho da barra desaparece da equação, uma vez que ambas as forças atuam em sua extremidade.

$$F = k(x - x_0) \frac{\sin(\theta + \phi)}{\sin(180^\circ - \theta)} \quad (17)$$

Utilizando a relação trigonométrica para a soma ou diferença de ângulos,

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \sin B \cos A \quad (18)$$

obtemos uma expressão para a força.

$$F = k(x - x_0) \frac{\sin\theta \cos\phi + \sin\phi \cos\theta}{\sin 180^\circ \cos\theta - \sin\theta \cos 180^\circ} \quad (19)$$

onde substituímos os valores de seno e cosseno de  $180^\circ$ , ficando com

$$F = k(x - x_0) \frac{\sin\theta \cos\phi + \sin\phi \cos\theta}{\sin\theta} \quad (20)$$

Fazendo uso das relações

$$\cos^2\phi + \sin^2\phi = 1 \Rightarrow \cos\phi = \sqrt{1 - \sin^2\phi} \quad (21)$$

$$\frac{\sin\phi}{L} = \frac{\sin\theta}{x} \quad (22)$$

eliminamos o ângulo  $\phi$  das equações, obtendo:

$$F = k(x - x_0) \left[ \sqrt{1 - \frac{L^2}{x^2} \sin^2\theta} + \frac{L}{x} \cos\theta \right] \quad (23)$$

onde  $x$  pode ser obtido pela Eq. (13).

$$F = k(x - x_0) \frac{L}{x} \left[ \sqrt{\frac{x^2}{L^2} - \sin^2\theta} + \cos\theta \right] \quad (24)$$

Com isso, podemos construir o gráfico mostrado na Fig. 8.

O gráfico da Fig. 8 apresenta o comportamento da força na cadeira Combo em função do deslocamento angular  $\theta$  mostrado na Fig. 7(b). É possível observar dois regimes não lineares e uma descontinuidade abrupta que ocorre a cerca de  $0,85$  rad ( $\sim 49^\circ$ ). A conformação mecâ-

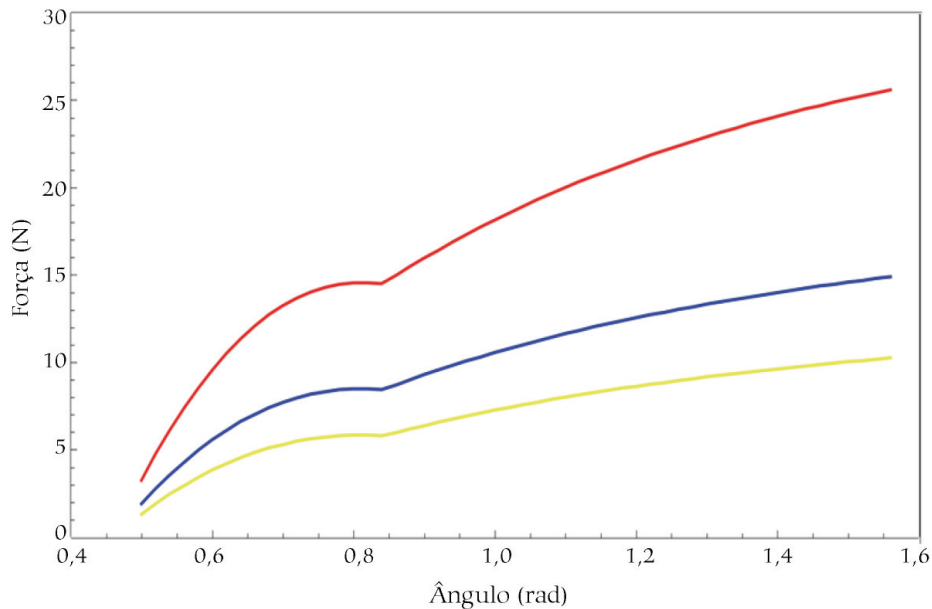


Figura 8: Gráfico do comportamento da força exercida pelo executor do movimento na cadeira Combo.

nica da cadeira Combo é tal que gera uma taxa de crescimento da força em função do deslocamento angular cerca de duas vezes maior dentro do primeiro regime, se comparado ao segundo.

### Considerações finais

Analisamos o comportamento da grandeza força presente no caso de dois tipos de aparelhos usados no método

Pilates de exercício físico. Importante notar que nos dois aparelhos analisados as associações de molas e alavancas permitem a gradação da força no aparelho e que o comportamento dessa grandeza normalmente não é linear durante todo o movimento. Nos casos aqui analisados vemos mais de um regime de comportamento da força em função dos deslocamentos linear e angular. No aparelho Reformer a força tem maior variação dentro do segundo regime do movimento e na cadeira Combo a maior variação da força em função do deslocamento encontra-se na parte inicial do movimento, ou seja, dentro do primeiro regime.

Dessa forma, é possível verificar como os aparelhos de Pilates fornecem exemplos reais que fogem dos tradicionais exemplos que os livros didáticos apresentam para análise. Ainda, devido à configuração dos aparelhos, mesmo que a lei de Hooke se mantenha válida, o deslocamento proporcionado pelo sujeito em ação não é mais linearmente proporcional à força por ele exercida. Acreditamos que essa novidade, aqui apresentada, seja capaz de estimular e desafiar o raciocínio de muitos alunos.

### Agradecimentos

Graciana Azambuja pela revisão, Rui Rosa de Moraes Jr pela verificação das constantes das molas e Estúdio Pilates pela autorização no uso dos equipamentos.

### Referências

- [1] Y.O. Silva, M.O. Melo, L.E. Gomes, A. Bonezi e J.F. Loss, Rev. Bras. de Fisioterapia **13**, 1 (2009).
- [2] H.D. Young e R.A. Freedman, *Física I - Mecânica* (Pearson, São Paulo, 2008) 12ª ed.

### Na Internet

PhysioPilates, <http://physiopilates.com>.