



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.

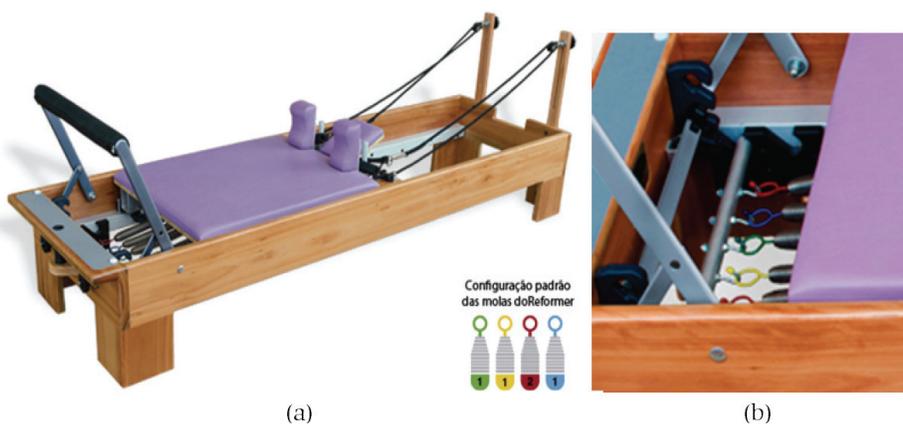


Figura 1: (a) Aparelho Reformer constituído de molas resistivas e roldanas e (b) os detalhes da associação de molas.



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.

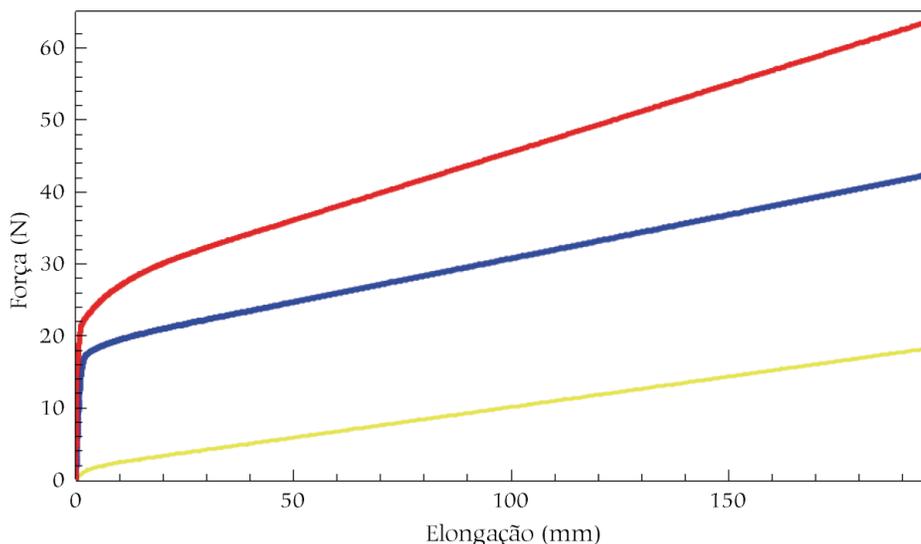


Figura 3: gráfico da força de resistência da mola, força elástica (N) em relação à sua elongação (mm).



Figura 4: Execução do movimento no aparelho Reformer.

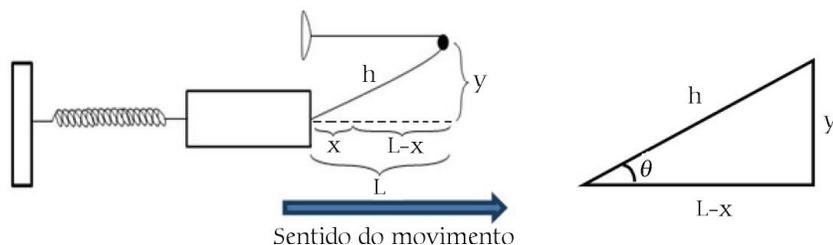


Figura 5: Detalhe do diagrama esquemático da execução do aparelho Reformer.

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.

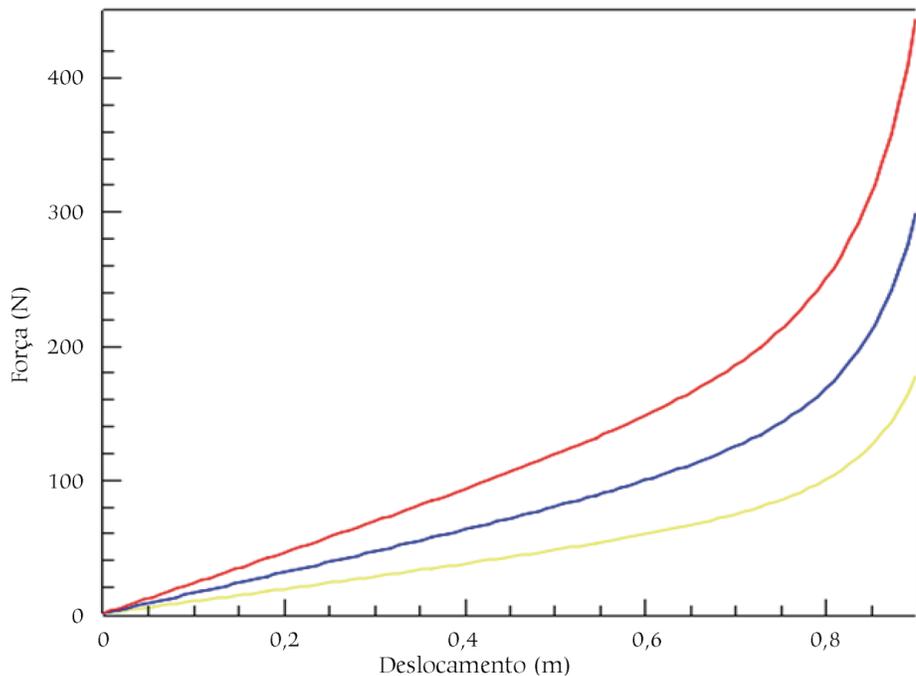
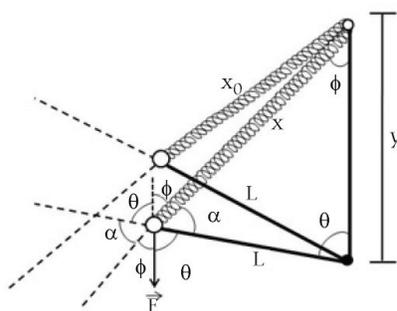


Figura 6: Gráfico relativo à equação da força na Eq. (12), com $l = 1$ m e $y = 0,2$ m.



(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° , 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 ϕ 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 θ 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-

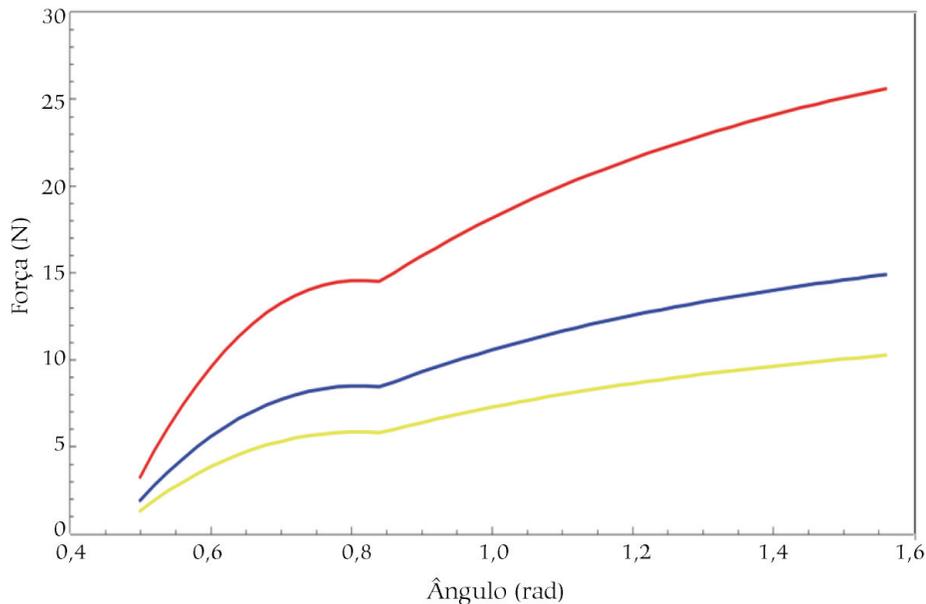


Figura 8: Gráfico do comportamento da força exercida pelo executor do movimento na cadeira Combo.

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>.