

# Construção de um Cicloergômetro de Baixo Custo para Membros Superiores e Inferiores

## Construction of Low Cost Ergometer for Upper and Lower Limbs

Alessandra Pinheiro Costa Nascimento<sup>a\*</sup>; Orivaldo Lopes da Silva<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidade de Cuiabá, Curso de Fisioterapia, MT, Brasil

<sup>b</sup>Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia, SP, Brasil

\*E-mail: ale\_pcn@hotmail.com

Recebido: 12 de novembro de 2012; Aceito: 28 de abril de 2013

### Resumo

Este artigo descreve uma bicicleta ergométrica construída e adaptada com um sistema de manípulos capazes de realizar o exercício rotativo simultâneo dos membros superiores e inferiores. O equipamento foi calibrado após adaptação de um torquímetro de alumínio, e as medidas foram registradas por um sistema para medição de torque em eixos rotativos por meio de telemetria. Foi realizada a calibração dinâmica dos manípulos e dos pedais, e os dados foram registrados a cada seis ciclos de carga pré-determinados pelo aperto de uma fita de couro geradora de resistência ao movimento. Foram determinados dois pontos de fixação da fita de couro na estrutura da bicicleta para obter um maior número de carga, esta exercida de forma gradativa durante a realização de exercícios no equipamento. Através dos resultados das calibrações visualizadas pela ponte de telemetria, observou-se que no 1º ponto de fixação da fita de couro, tanto na calibração dos manípulos como na dos pedais, obteve-se a carga máxima de 6mv/v. No 2º ponto de fixação da fita de couro, na calibração dos manípulos, foi registrada a carga máxima de 14 mv/v e, na calibração dos pedais, a carga máxima foi de 16 mv/v. A calibração dinâmica mostrou que o equipamento possui recursos de medidas de carga e que, provavelmente, poderá ser utilizado na reabilitação de pacientes com patologias diversas. Por fim, conclui-se que o equipamento é de baixo custo e sem similar no mercado nacional, podendo ser útil para a realização de testes de esforços físicos.

**Palavras chaves:** Exercício. Reabilitação. Teste de Esforço.

### Abstract

*This article describes an exercise bike built and fitted with a system of levers capable of performing the exercise simultaneously rotating the upper and lower limbs. The equipment was manufactured and calibrated with an aluminum torque wrench, and the measurements were recorded by a system for measuring torque in rotating shafts by telemetry. We performed dynamic calibration of the handles and pedals, and the data were recorded every 6 load cycles predetermined by tightening a leather strap generating resistance movement. Two points of attachment of leather strap structure of the bicycle was determined to obtain a greater number of loads, which was gradually exerted during the exercises. The results of calibrations by telemetry showed that the 1st point of attachment of leather tape, both for calibration of the handles and the pedals obtained the maximum load of 6 mv / v. In the 2nd point of the leather strap, the maximum load of 14 mv / v was found to calibrate the handles and 16 mv / v to calibrate the pedals. Dynamic calibration showed that the equipment is suitable for load measurements and probably could be used in the rehabilitation of patients with different pathologies. Finally, we concluded that the equipment is inexpensive and unique in the market and is useful for testing of physical efforts.*

**Keywords:** Exercise. Rehabilitation. Exercise Test.

### 1 Introdução

Os benefícios para a saúde associados à adoção de um estilo de vida fisicamente ativo são amplamente citados e comprovados na literatura, sobretudo no que se refere à prevenção e ao processo de reabilitação. Além dos benefícios no campo biológico e psicoemocionais, importantes estudos têm procurado destacar que hábitos de prática da atividade física tendem a melhorar a qualidade de vida da população, principalmente dos pacientes em reabilitação.

O presente estudo aborda a invenção das bicicletas no século XIX. Demonstra-se que existe um grande interesse por parte da comunidade científica em desenvolver métodos precisos que possibilitem quantificar a capacidade dos indivíduos em realizar trabalho físico.

Muitos são os protocolos que têm procurado determinar as variáveis fisiológicas capazes de prever o desempenho e que também possam ser utilizados como índices de referência para a prescrição e controle dos efeitos do treinamento<sup>1</sup>.

As primeiras bicicletas eram impulsionadas pelos pés do ciclista, sem pedais, embora existam registros anteriores de desenhos e escritos de Leonardo da Vinci em um museu de Madri, demonstrando precocemente o uso da transmissão por corrente. No entanto, apenas com o surgimento do velocípede em 1855, as teorias de Leonardo da Vinci começaram a ser utilizadas. Desenvolvido na França, por Michaux, o velocípede com a adição das manivelas e pedais, que marca o começo de uma linha contínua de desenvolvimento que conduz à bicicleta moderna<sup>2</sup>.

Desde então, o velocípede apreciou uma popularidade considerável na Europa e América do Norte, patenteado nos Estados Unidos em 1866 por Pierre Lallement. Somente em 1890, houve um aumento surpreendente no número de fabricantes e usuários de bicicletas em torno do mundo. Assim, ao longo dos anos, o uso difundido e o sucesso comercial da bicicleta são fatores atuais. Inicialmente inventada para servir de locomoção, passou a ser também utilizada para a prática de atividade física, tornando um importante instrumento de treinamento.

Acompanhando o avanço da mecânica ciclística, desenvolveu-se um modelo especial, a bicicleta estacionária. Esta permite ser utilizada em ambientes internos, independente das condições climáticas ou ambientais externas. A bicicleta estacionária tornou-se um aparato familiar encontrado na maioria das instituições onde o exercício terapêutico é prescrito, recebendo aceitação universal. Foi sugerida como equipamento para aumentar a extensão dos movimentos do quadril, joelho e tornozelo, bem como para fortalecer os músculos e melhorar a amplitude de movimento da extremidade em geral<sup>3</sup>.

O cicloergômetro é um aparelho estacionário, que permite rotações cíclicas, podendo ser utilizado para realizar exercícios passivos, ativos e resistidos com os pacientes<sup>4</sup>.

O ergômetro para a parte superior do corpo pode ser usado nas fases iniciais da reabilitação, a fim de restaurar a amplitude de movimento e, nas fases subsequentes, para a resistência muscular. A máquina inercial pode ser usada para aprimorar a coordenação e a sincronia, assim como para o fortalecimento excêntrico, particularmente dos músculos que participam na desaceleração do ombro<sup>5</sup>.

Nota-se que é possível, com a introdução do exercício das extremidades inferior e superior no cicloergômetro, fazer com que o paciente participe mais ativamente das atividades fisioterapêuticas, auxiliando em seu processo de reabilitação. Exercícios com a extremidade superior são usualmente indicados para indivíduos que necessitem de atividades ocupacionais envolvendo trabalho de braço, como também para pessoas incapazes de realizar trabalho de perna, tais como paraplégicos ou indivíduos com debilidades da extremidade inferior<sup>6</sup>.

Em estudos utilizando a bicicleta de braço como equipamento de exercício resistivo, pesquisadores demonstraram que este exercício resulta no aumento do consumo máximo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub> máximo), induz a bradicardia (diminui a taxa cardíaca no final no trabalho de carga submáxima) e aumenta a capacidade de trabalho físico.

As adaptações abordadas acima podem resultar em melhorias significantes na resistência funcional, assim, reduzindo a fadiga durante a propulsão da cadeira de rodas e outras atividades de vida diária<sup>7</sup>.

Deste modo, o presente referencial ressaltou que o

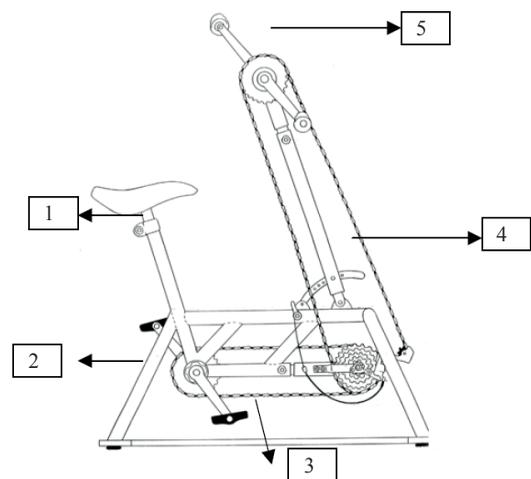
objetivo deste estudo é desenvolver um equipamento global com recursos nacionais e, especialmente, de baixo custo.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Material

Primeiramente, realizou-se um desenho esquemático, com adaptações à bicicleta ergométrica convencional, que possibilitasse o movimento rotacional dos membros superiores e inferiores, de maneira conjunta e sincrônica.

O desenho (Figura 1) permitiu o prévio estudo dos materiais a serem utilizados na confecção e adaptação do equipamento, onde se priorizou a utilização de componentes disponíveis comercialmente. O dimensionamento dos componentes do protótipo procurou dar opções de regulagem à altura do selim e à coluna de fixação dos manípulos, devido às variações antropométricas das populações.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 1:** Desenho do protótipo inicial: 1) Banco Regulável; 2) Base de Apoio; 3) Pedais; 4) Coluna Regulável; 5) Manípulos

As principais características que o protótipo definiu foram:

- 1) Estabelecimento de diretrizes; e
  - 2) Ajuste e acoplamento das engrenagens, permitindo o movimento rotativo simultâneo dos membros superiores e inferiores.
- a) Elaboração do protótipo

Os componentes do protótipo foram confeccionados em uma serralheria no município de Santa Fé do Sul, SP.

A estrutura do equipamento foi desenvolvida em “AISI 1020”, formando uma base de apoio equilibrada na forma de um quadro onde se eleva frontalmente uma coluna regulável de sustentação dos manípulos, posteriormente um suporte para o banco, e inferiormente um apoio para os pedais.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 2:** Bicicleta em vista lateral

#### b) Coluna regulável e Manípulos

A coluna regulável sustenta, em sua extremidade superior, um cubo com pés de vela adaptados com luvas para manipulação e uma coroa conectada em sua lateral direita para receber a corrente.

Na extremidade inferior da base de apoio da bicicleta, foram colocados pés de vela que sustentam pedais intermediados do lado esquerdo por uma coroa por onde passa a corrente.

#### c) Sistema de movimentação conjunta

Para associar os movimentos de pedal e manípulo, foi fixado à base de apoio um cubo de alumínio, com rosca em ambos os lados, onde, em uma extremidade, foi acoplada uma catraca de marcha conectada aos manípulos, que com o ajuste de um câmbio, possibilita a alternância entre as coroas de maior e menor diâmetro para o movimento rotativo dos membros superiores.

A utilização da catraca de marcha e seu intercâmbio entre coroas de maior e menor esforço permitem que as mãos conduzam os pés de forma mais leve, podendo ser útil para o exercício de indivíduos com membros inferiores paralisados.

Na outra extremidade do cubo, apoia-se uma roda livre, ligada aos pedais.

#### d) Disco de inércia

Para fornecer a resistência necessária ao movimento do equipamento, foi adquirido um disco de inércia de 290 mm de diâmetro (Figura 3), feito de ferro fundido, muito usado em bicicletas ergométricas. Este possui um orifício central por onde foi inserido um eixo de ferro, para fixação ao garfo.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 3:** Garfo de sustentação do disco de inércia e torquímetro

Ao disco de inércia foi acoplada uma fita de couro, ajustada manualmente por um dispositivo de graduação de resistência (Figura 4).



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 4:** Dispositivo de graduação de resistência

As rodas livres foram acopladas uma de cada lado do disco, preservando a ideia inicial. Nas Figuras 5 e 6, a seguir, é visualizado o disco de inércia montado na bicicleta estacionária adaptada para membros superiores e inferiores.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 5:** Bicicleta em vista fronto lateral



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

Figura 6: Bicicleta em vista lateral

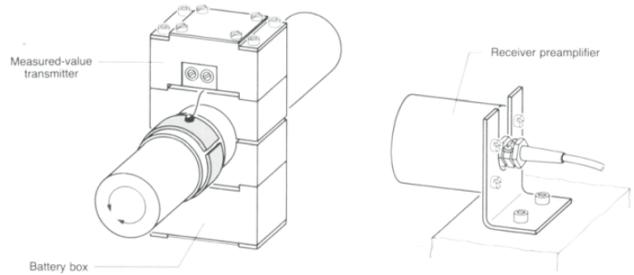
Observou-se que os movimentos rotativos dos membros superiores eram mais rápidos comparados com os membros inferiores. Isso se dá pela diferença entre o tamanho das coroas que interligam os sistemas. Realizou-se então, a substituição das coroas dos manípulos e da roda livre dos pedais por coroas menores, todas do mesmo diâmetro, para sincronizar os movimentos. Somente nos manípulos utilizou-se duas coroas opcionais (Figura 7), a maior de 131,65 mm e a menor de 89 mm, buscando melhor ajuste de sincronização (ajuste fino).



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

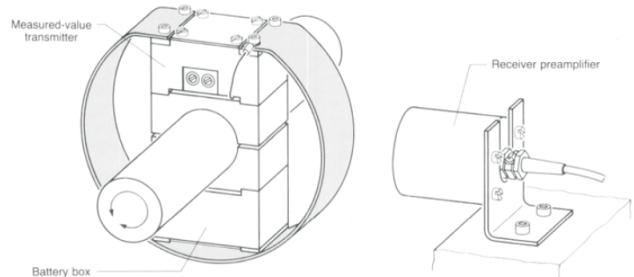
Figura 7: Coroas dos manípulos

Utilizou-se um sistema para medição de torque em eixos rotativos por meio de telemetria (Hottinger Baldwin Messtechnik®). O sistema Modular BLM serve para captar, mensurar e transmitir valores. Habilita o uso de *strain gauges* aplicados a componente de máquinas que executam movimento de rotação ou translação. As Figuras 8 e 9 exemplificam a montagem do sistema BLM utilizado na calibração.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

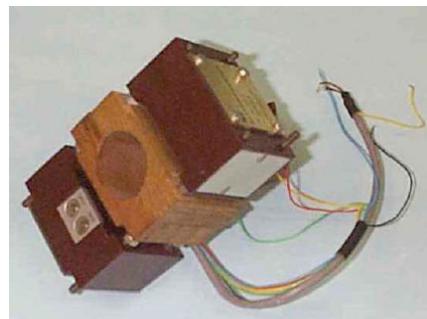
Figura 8: Medidor de valores transmitidos



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

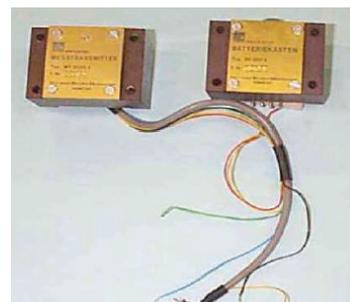
Figura 9: Medidor de valores transmitidos com acoplamento de uma antena com bateria e receptor amplificado

O sistema de transmissão inclui quatro módulos separados que podem ser selecionados de acordo com sua aplicação: medidor de valores transmitidos MT 2555A e Bateria Box BK 2801 A.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

Figura 10: Medidor de valores com suporte para bateria



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

Figura 11: Receptor amplificado



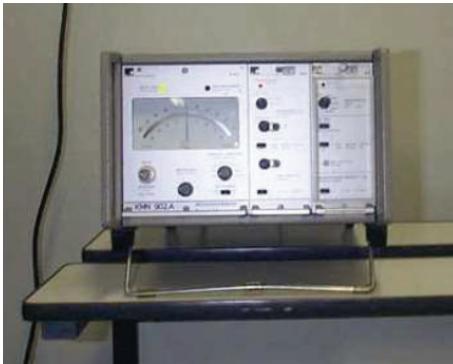
Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 12:** Transmissor rotativo



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

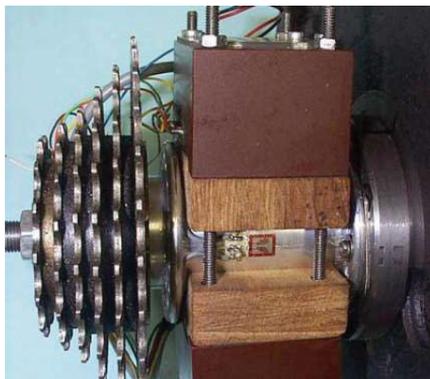
**Figura 15:** Calibração externa estática



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 13:** Ponte de Telemetria

No cubo de alumínio, foi realizada a colagem dos extensômetros (Figura 14), montados em ponte completa. Este sistema funcionou como um torquímetro para a calibração.



Fonte: Nascimento<sup>8</sup>.

**Figura 14:** Extensômetros colados no cubo

A calibração externa estática (Figura 15) foi realizada com o disco de inércia fixo a uma mesa de ferro por um garfo, dando suporte ao torquímetro. Utilizou-se um braço de alavanca de 147 mm, no qual se adicionavam pastilhas de 0.5 e 1 kg. A coleta de dados foi registrada pela ponte de telemetria a cada adição de peso.

A calibração estática dos manípulos e pedais foi realizada utilizando os mesmos pesos da calibração anterior, colocados no suporte de ferro, preso aos pedais que permaneceram na posição de 90 graus. Os dados foram visualizados e registrados a cada adição de peso através da ponte de telemetria.

## 2.2 Método

O estudo foi dividido em três etapas, sendo a primeira destinada ao planejamento, desenho e confecção do protótipo, executado na cidade de Santa Fé do Sul, São Paulo. Um estudo das variações antropométricas foi utilizado para auxiliar no dimensionamento do aparelho. Após a definição do modelo e padronização das medidas, a estrutura do equipamento foi construída.

Na segunda etapa do projeto, com apoio dos Laboratórios de Aeronaves, Metrologia e Laboratório de Máquinas e Ferramentas, da Universidade de São Paulo obteve-se a versão final do aparelho, com aperfeiçoamento dos mecanismos de resistência e adaptações para calibração.

A terceira e última etapa destinou-se às calibrações estáticas e avaliações dinâmicas do equipamento.

## 3 Resultados e Discussão

Através dos resultados das calibrações visualizadas pela ponte de telemetria, observou-se que no 1º ponto de fixação da fita de couro, tanto na calibração dos manípulos como na dos pedais, obteve-se a carga máxima de 6mv/v. No 2º ponto de fixação da fita de couro, na calibração dos manípulos, foi registrada a carga máxima de 14 mv/v e na calibração dos pedais a carga máxima foi de 16 mv/v. A calibração dinâmica mostrou que o equipamento possui recursos de medidas de carga e que, provavelmente, poderá ser utilizado na reabilitação de pacientes com patologias diversas.

Considerando que a maioria das clínicas de reabilitação física possui uma bicicleta ergométrica (de uso restrito a membros inferiores) e que o ciclo ergômetro para membros superiores é ainda pouco comercializado e de custo elevado, avaliou-se a necessidade de um equipamento que suprisse ambas as necessidades, poupando custos e tempo de

tratamento despendido pelos pacientes.

Um ciclo ergômetro para membros superiores e inferiores pode contribuir de forma substancial no tratamento de indivíduos com incapacidades, pois permite o movimento dos membros superiores sempre de forma ativa, e dos inferiores, ativa ou passivamente, conforme as necessidades de cada indivíduo, ampliando o leque de benefícios de pacientes em fase de reabilitação, em especial aos paraplégicos que, impossibilitados de pedalar, nunca poderiam praticar este exercício dinâmico.

Através deste equipamento, o paciente estaria mobilizando seus membros inferiores hipotônicos através dos superiores, realizando uma automobilidade articular, melhorando a irrigação tecidual e o retorno venoso, além do estímulo psicológico, que entre tantos benefícios, merece importância. Deste modo, a sua utilidade será ampla na reabilitação, principalmente nos setores de cardiologia, pneumologia, ortopedia e traumatologia, neurologia desportiva, e no condicionamento físico de sedentários e atletas.

#### 4 Conclusão

Diante do objetivo proposto e dos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que o equipamento desenvolvido é capaz de realizar movimentos independentes de rotação dos membros inferiores ou superiores, isoladamente ou de forma conjunta, sob condições de carga mecânica determinadas, permitindo potencializar e ampliar o leque de benefícios gerados pelos aparelhos isolados.

Considerando ser de baixo custo e de tecnologia nacional, o desenvolvimento do ciclo ergômetro para membros superiores e inferiores se torna viável comercialmente.

Por fim, na qualidade de proposição para trabalhos

futuros, sugere-se a incorporação de um sistema de medida de torque (torquímetro) acoplado a um sistema de aquisição de sinal e apresentação de informações em “display”, de forma a ser possível a obtenção de dados de interesse biomecânico (torque, força, energia, etc) durante a utilização do equipamento, bem como a realização de testes em indivíduos de diversas patologias.

#### Referências

1. Denadai BS. Determinação do limiar anaeróbio em jogadores de futebol com paralisia cerebral e nadadores participantes da paraolimpíada de Sidney 2000. *Rev Bras Med Esporte* [online] 2002;8(3):117-22.
2. Bikerz. História da bicicleta. 2012 [acesso em 7 jun 2012]. Disponível em [www.bikerz.lhpgig.com.br](http://www.bikerz.lhpgig.com.br).
3. Houtz SJ, Fischer JF. An Analysis of Muscle Action and Joint Excursion during Exercise on a Stationary Bicycle. *J Bone Joint Surg Br* 1959;41-A(1):123-31.
4. Needham DM, Truong AD, Fan E. Technology to enhance physical rehabilitation of critically ill patients. *Crit Care Med* 2009;37(10 Suppl):S436-41.
5. Souza PB. Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento cicloviário. Tese [Doutorado em Engenharia de Transportes] - Universidade de São Paulo; 2012.
6. Barbosa CD, Balp MM, Kulich K, Germain N, Rofail D. A literature review to explore the link between treatment satisfaction and adherence, compliance, and persistence. *Patient Prefer Adherence* 2012;6:39-48.
7. Dantas CM, Silva PF, Siqueira FH, Pinto RM, Matias S, Maciel C, *et al.* Influência da mobilização precoce na força muscular periférica e respiratória em pacientes críticos. *Rev Bras Ter Intensiva* 2012;24(2):173-8.
8. Nascimento APC. Projeto e desenvolvimento de um ciclo ergômetro para membros superiores e inferiores. Dissertação [Mestrado em Bioengenharia] - Universidade de São Paulo; 2004.