

Protótipo de Ergômetro Ajustável Para Cadeirantes Paralímpicos

Lucas de Souza Cardoso, FEMEC-UFU, sat.iccha@gmail.com

Elton Diego Bonifácio, FEMEC-UFU, eltondbonifacio@yahoo.com.br

Sonia A. Goulart de Oliveira, FEMEC-UFU, sgoulart@mecanica.ufu.br

Cleudmar A. Araújo, FEMEC-UFU, cleudmar@mecanica.ufu.br

Resumo. Nos últimos anos, o Brasil vem se destacando nos esportes paralímpicos. Algumas das modalidades envolvidas necessitam de cadeiras de rodas personalizadas. Estas cadeiras levam em consideração especificidades da modalidade, como o basquete e o rúgbi, bem como, características antropométricas dos atletas. Paralelamente, o planejamento dos treinamentos para os diferentes atletas necessita de conhecimentos sobre suas capacidades físicas, que, normalmente, são adquiridos através de ergômetros dedicados para cadeirantes. O uso de ergômetros para cadeirantes viabiliza a reabilitação de pessoas com deficiência, bem como, a sua inclusão social através do esporte. Em geral, uma cadeira de rodas de uso diário não é compatível para o desenvolvimento de atividades físicas de alto rendimento, principalmente, considerando as diferenças antropométricas das pessoas. O objetivo deste trabalho é o projeto de um ergômetro ajustável para cadeirantes que pode ser utilizado para o projeto de cadeiras de rodas personalizadas considerando diferentes modalidades paralímpicas, e ainda, utilizado para a avaliação do condicionamento físico. Levando em consideração diferentes faixas de regulagens de assento, encosto, apoio dos pés, distância entre aros, inclinação dos aros e altura, a estrutura foi projetada em tubos de liga de alumínio aeronáutico com regulagens manuais. O ergômetro também possui um sistema de ajuste de afunilamento do joelho e tibia visando uma maior estabilidade do atleta. A avaliação dos níveis de potência é feita através de aplicativo LabVIEW que monitora os sinais de um dispositivo de resistência eletromagnético. Neste trabalho, serão discutidas as implicações das possíveis regulagens do ergômetro que influenciam a estrutura do projeto do ergômetro. O projeto encontra-se em fase de registro de propriedade intelectual.

Palavras chave: cadeirantes, paralímpicos, ergômetro, ajustes, desempenho.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Freire (2008), os esportes paralímpicos surgiram a partir de procedimentos de reabilitação física e foram iniciados com os trabalhos do neurologista alemão, Sir Ludwig Guttmann. Ainda, Gonzalez (2007) afirma que o surgimento dos esportes paralímpicos ocorreu após a primeira guerra mundial, onde soldados amputados em combate foram iniciados nos esportes de tiro com arco e flecha.

Desde a segunda guerra mundial os esportes paralímpicos tornaram-se oficialmente parte dos jogos olímpicos, desenvolvidos de forma paralela, em que algumas modalidades foram adaptadas para cadeirantes.

Com o crescimento dos esportes adaptados e das tecnologias adotadas, as Paralimpíadas ganharam notoriedade, atingindo o reconhecimento de um dos eventos mais organizados do mundo. Na década de 60 foi criado o IPC – *Comitê Paralímpico Internacional*.

Desde os Jogos de Atenas, em 2004, os esportes paralímpicos ganharam mais importância no Brasil, destacando inúmeros paratletas em diversas modalidades como basquetebol, ciclismo, bocha, esgrima e até futebol sobre rodas.

O emprego de cadeiras de rodas em esportes paralímpicos vem passando por diversas melhorias e adequações ergonômicas. Jorge (2005) menciona que a ergonomia é o estudo entre o homem e o seu ambiente de trabalho, e que envolve equipamentos, organização local e desenvolvimento de métodos empregados nas diversas atividades, principalmente, as atividades físicas.

A fim de estabelecer esta noção de adaptabilidade entre o equipamento e o paratleta, Calegari (2010) afirma a necessidade de se adequar as regras desportivas exclusivamente para estes usuários. Neste sentido, destacou-se a Organização Internacional de Esportes para os Mutilados (ISOD), desenvolvendo os regulamentos do paradesporto. Por exemplo, a modalidade do Handebol foi pioneira neste processo, pela reconstituição dos aspectos técnicos e táticos do esporte para com as necessidades dos paratletas.

É considerável a importância das cadeiras de rodas em modalidades em que são empregadas, assim como, a sua adequação ergonômica. Cooper (2001) ressalta as implicações da falta de adequação do equipamento em função das necessidades dos usuários, inclusive, enfatizando as próprias implicações básicas de se locomover por meio de cadeiras de rodas. Para Cooper (2001) as pessoas com tetraplegia ou lesões na medula espinhal ao nível cervical podem encontrar dificuldades no processo de propulsão da cadeira de rodas manual devido à fadiga e fraqueza do músculo das extremidades dos membros superiores. E neste caso, a fadiga pode levar a um prejuízo irreversível impossibilitando ao usuário uma propulsão manual independente. Koontz (2009) se aprofunda nesta abordagem determinando outros

prejuízos relacionados à incompatibilidade entre o equipamento e o paratleta, além de lesões nos membros superiores. O autor destaca que podem ocorrer lesões na medula, lesões por esforços repetitivos, lesões no manguito rotador, retardamento da reabilitação, aceleração do processo de envelhecimento e desgaste de tecidos e articulações.

Boninger (2005) alerta para os danos a órgãos adjacentes, como aumento da demanda cardíaca, deformidade pélvica, solicitação acentuada do sistema circulatório, e hiperventilação, ou respiração acelerada e taquicardia.

Para o Instituto Brasileiro dos Direitos da Pessoa com Deficiência – IBDD (2008), os portadores de deficiência devem ser reintegrados à sociedade mostrando a sua natureza ativa e sua contribuição, e que o desenvolvimento econômico, social e ambiental está triangulado ao empenho que se emprega ao comportamento ético humano. Certas medidas podem gerar um aprimoramento pessoal e profissional do portador de deficiências, devolvendo-lhe a autoconfiança e a vontade de vencer e superar os obstáculos.

Diante disto, o objetivo deste trabalho é projetar um ergômetro para cadeirantes com ajustes manuais e que possibilite o desenvolvimento personalizado de cadeiras esportivas de alto rendimento, bem como, a avaliação do condicionamento físico de pessoas com deficiência.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Modalidades Paralímpicas

De acordo com as modalidades definidas pelo Comitê Paralímpico Internacional (IPC), existem 07 modalidades as quais a cadeira de rodas exerce uma influência significativa na dinâmica do esporte. São eles: Basquetebol, Rúgbi, Atletismo, Badminton, Tênis em Cadeiras de Rodas, Tênis de Mesa e o Andebol.

Sobre algumas delas, por exemplo, a cadeira de rodas do basquete tem que possuir apoio dos pés com barra de proteção e adaptação rígida para as pernas do atleta. Esta configuração é importante, uma vez que, a modalidade exige impactos e movimentos rápidos durante a partida. Em contrapartida, uma cadeira de rúgbi deve possuir uma estrutura reforçada. A figura 2.1 mostra modelos de cadeiras de rodas para o basquete e o rúgbi paralímpicos.



Figura 2.1 – Modelos de cadeiras de rodas para o Basquetebol (a) e o Rúgbi (b).
Fonte: Cortesia Alphamix Ind. Com. Ltda.

O projeto de uma cadeira de rodas para uma modalidade de alto rendimento, necessariamente, deve ser personalizada levando-se em consideração as características antropométricas de cada paratleta e as suas relações com a própria estrutura da cadeira de rodas.

2.2. Projeto do Novo Ergômetro Ajustável para Cadeirantes

O Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) vêm desenvolvendo ergômetros para cadeirantes considerando como principal referência o efetivo gesto motor do cadeirante. Neste aspecto, foi desenvolvido um primeiro protótipo adaptado para a aplicação de testes de potência aeróbica e anaeróbica, mostrado na figura 2.2. Este protótipo possui uma base fixa projetada com diversos elementos adaptados ao assento do cadeirante visando a aplicação de força nos aros de impulsão que ficam suspensos e são adaptados a um sistema de resistência eletromagnético. Existe a possibilidade de variação de 8 níveis de resistência eletromagnética. Os sinais de torque e velocidade são adquiridos e alimentam um aplicativo desenvolvido em ambiente *LabVIEW* para monitoramento e avaliação de testes físicos.

Para o projeto do novo ergômetro considerou-se as diferentes configurações geométricas e estruturais das cadeiras de rodas esportivas e suas variações dimensionais, os materiais empregados na sua construção, e faixas usuais de variação antropométrica para os atletas das modalidades paralímpicas que envolvem as cadeiras de rodas.



Figura 2.2 – Primeiro protótipo do ergômetro para cadeirantes projetado e construído no LPM.

Definidas as principais regulagens que afetam o projeto destas cadeiras, foram estruturadas todas as partes móveis do novo ergômetro. Ou seja, estas características definiram as variáveis de influência do. A figura 2.3 ilustra as propriedades dimensionais que foram ajustadas no novo ergômetro projetado.

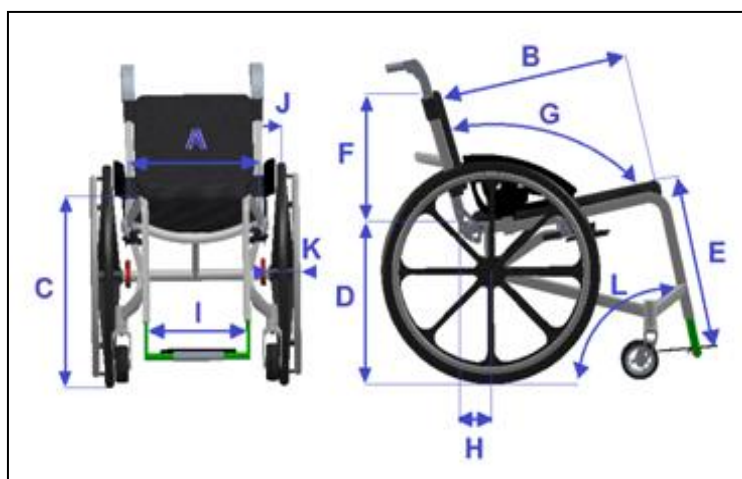


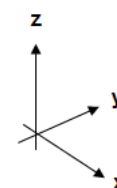
Figura 2.3 – Propriedades convencionais investigadas das Cadeiras de Rodas.

3. RESULTADOS

Após a análise de diferentes cadeiras de rodas esportivas verificou-se as faixas usuais de regulagens possíveis de serem utilizadas e que podem afetar o projeto final. A tabela 3.1 apresenta as faixas dimensionais utilizadas no projeto do novo ergômetro, bem como, as direções dos seus ajustes enquanto graus de liberdade dos componentes.

Tabela 3.1 – Amplitudes para os Ajustes dos Elementos do Ergômetro para Cadeirantes Paraplímpicos.

ITEM	ELEMENTO	MED_MIN	MED_MAX	VARIAÇÃO	GDL's
A	Largura do assento (cm)	25	50	25	↗↘ Y
B	Profundidade do assento (cm)	30	60	30	↘↗ X
C	Altura do assento ao chão – dianteira (cm)	55	65	10	↑↓ Z
D	Altura do assento ao chão – traseira (cm)	50	60	10	↑↓ Z
E	Altura do assento ao apoio dos pés (cm)	40	70	30	↑↓ Z
F	Altura do Encosto (cm)	10	50	40	↑↓ Z
G	Ângulo do Encosto em relação ao assento (graus)	87	97	10	↻ X
H	Centro de gravidade das rodas traseiras (cm)	4	10	6	↘↗ X
I	Largura do apoio dos pés (cm)	10	50	40	↗↘ Y
J	Cambagem da roda traseira (graus)	6	22	16	↻ Y
K	Distância da roda ao quadro (cm)	5	10	5	↗↘ Y
L	Ângulo de inclinação da parte frontal da cadeira (graus)	80	90	10	↻ X
φ	Diâmetro padrão das rodas dianteiras (polegadas)	3	10	7	↻ Z
Ø	Diâmetro padrão das rodas traseiras (polegadas)	24	25	1	↻ Z



Na tabela 3.1, foram utilizados ajustes lineares e angulares. Os ajustes lineares interferem nos comprimentos das partes estruturais, geralmente representadas pelos ajustes das dimensões dos membros inferiores e superiores dos paratletas, largura da bacia, abdômen e tórax, e principalmente, pelas naturezas das lesões envolvidas. Os ajustes angulares, geralmente, ligam-se às liberdades de locomoção e alcance antropométrico do atleta, também influenciados pelas deficiências físicas pertinentes.

De acordo com o mapeamento dos elementos da figura 2.3, a coluna de GDL's, na tabela 3.1, representa os graus de liberdade dos ajustes de acordo com um eixo de referência, traduzindo o sentido e a direção da amplitude – expressos pelas setas para ajustes lineares e pelas rótulas para ajustes angulares. Considere os eixos de acordo com o sistema de coordenadas retangulares esboçado na tabela.

Portanto, todos os ajustes concebidos integram a estrutura na forma de partes específicas, denominadas módulos. Devido à esta abordagem modular foi possível dar ao modelo do ergômetro desenvolvido faixas operacionais para as diferentes modalidades paradesportivas, ou seja, a estrutura pode ter seus módulos configurados de forma a representar as especificações de equipamentos de alguns tipos de modalidades desportivas, como o basquetebol, o rúgbi, andebol, entre outros.

3.1. Estrutura do Ergômetro Ajustável

A estrutura básica do novo ergômetro foi projetada com perfilados tubulares e trefilados de liga de alumínio aeronáutica de alto desempenho mecânico e baixa densidade compondo uma estrutura com cerca de 13 kgf. As regulagens foram baseados em diversos clássicos da engenharia, parafusos, engrenagens, dentre outros. A particularidade deste protótipo é que todos os ajustes e regulagens são manuais, ou seja, sem sistemas automatizados. Esta particularidade visa redução final dos custos. No total existem 60 componentes usados simetricamente gerando 141 peças que formam a estrutura e permitem 18 configurações de ajustes individualizados.

A estrutura modular é acoplada a um sistema de resistência eletromagnética que fornece 8 níveis de força resistiva variável com a rotação imposta aos aros. Os sinais de torque e rotação são monitorados através de um aplicativo Labview.

Estas características estruturais e funcionais é que definiram a geometria do novo de ergômetro ajustável para cadeirantes proposto neste estudo. Com este equipamento é possível, durante os testes experimentais, identificar sua melhor adequação ergonômica, ao mesmo tempo em que realiza testes de fadiga e cardiometria simulando uma propulsão durante uma atividade esportiva. As regulagens otimizadas definidas no ergômetro são então registradas e irão alimentar o projeto da cadeira de rodas personalizada para a modalidade paradesportiva do atleta.

4. CONCLUSÃO

O projeto do novo ergômetro ajustável para cadeirantes contemplou configurações antropométricas de algumas modalidades paradesportivas que utilizam cadeira de rodas. A estrutura do ergômetro é leve e resistente possuindo várias regulagens manuais. Em geral, o projeto de cadeiras de rodas personalizadas envolve profissionais que necessitam de conhecimentos das diferentes modalidades paralímpicas e exigem experiência e técnicas adequadas para a mensuração antropométrica dos atletas. Normalmente, esta função é realizada in loco. A grande vantagem deste novo equipamento é automatizar o processo de desenvolvimento de cadeiras de rodas esportivas personalizadas, através da medição de parâmetros ótimos, sem a interferência de um profissional especializado e com avaliação em tempo real de sua futura cadeira de rodas dentro de uma condição simulada pelo ergômetro. Neste estudo a estrutura do novo ergômetro não foi apresentada devido ao processo de propriedade intelectual.

5. REFERÊNCIAS

BONINGER, M. L. *et al.* 2005. “Pushrim Biomechanics and Injury Prevention in Spinal Cord Injury: **Recommendations Based on CULP-SCI investigations**”. JRRD, vol 42, nr. 3, supplement 1. New Jersey: DVA, 2005. September, 12, 2013 <<http://www.rehab.research.va.gov/jour/05/42/3suppl1/pdf/boninger.pdf>>.

CALEGARI, D. R. **Adaptação do Handebol para a Prática em Cadeiras de Rodas**. Tese de Doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010. October, 18, 2013 <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/>>.

COOPER, R. A. *et al.* **Evaluation of a Pushrim-Activated, Power-Assisted Wheelchair**. Arch Phys Med Rehabil, vol 82, Issue 5. Pittsburgh: ACRM, 2001. September, 02, 2013 <[http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993\(01\)32349-3/abstract](http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993(01)32349-3/abstract)>.

COOPER, R. A. *et al.* **Mechanical Efficiency and User Power Requirement with a Pushrim Activated Power Assisted Wheelchair**. Medical Engineering & Physics, vol 23, Issue 10. Pittsburgh: Elsevier, 2001. September, 10, 2013 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453301000546>>.

FREIRE, G. M. *et al.* Recomendações para o Desenvolvimento de Cadeiras, a partir de uma Análise Ergonômica: **Arremesso do Peso nos Jogos Parapanamericanos 2007**. Dissertação de Mestrado. Ponta Grossa: UTFPR, 2008. September, 03, 2013 <www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/.../80/Dissertacao.pdf>.

GONZALEZ, Jane da Silva. Os Jogos Paraolímpicos: **O Contexto Histórico e Atual**. Grupo de Pesquisa em Estudos Olímpicos da PUC. Porto Alegre: PUCRS, 2007. September, 03, 2013 <www.olympicstudies.uab.es/brasil/pdf/91.pdf>.

IBDD – Instituto Brasileiro dos Direitos da Pessoa com Deficiência. **Inclusão Social da Pessoa com Deficiência: Medidas que Fazem a Diferença**. 1ª edição. Rio de Janeiro: IBDD, 2008. September, 03, 2013. <www.ibdd.org.br/arquivos/inclusaosocial.pdf>.

IWAS – Federação Internacional de Esportes de Cadeirantes e Amputados. September, 03, 2013 <<http://www.iwasf.com/>>.

JORGE, S. S.; COSTA ALEXANDRE, Neusa M. **Ergonomic Evaluation Of A Wheelchair Utilized To The Transportation Of Hospital Patients**. R Enferm 13. Rio de Janeiro: UERJ, 2005. September, 03, 2013 <<http://www.facenf.uerj.br/v13n2/v13n2a06.pdf>>.

KOONTZ, Alicia M. *et al.* **Manual Wheelchair Propulsion Patterns on Natural Surfaces During Start-Up Propulsion**. Arch Phys Med Rehabil, vol 90, Issue 11. Pittsburgh: Elsevier, 2009. September, 03, 2013 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999309006182>>.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências: FAPEMIG, CNPq e CAPES/PROEX que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto; Nossos agradecimentos também à empresa Alphamix Indústria e Comércio Ltda. que motivou este trabalho, assim como, contribuiu para o capital intelectual e de fomento desta pesquisa.

7. ABSTRACT

In recent years, Brazil have gained prominence in paralympic sports. Some of the procedures involved need to custom wheelchairs. These chairs take into account specificities of the sport, such as basketball and rugby, as well as anthropometric characteristics of athletes. In addition, the planning of training for different athletes need knowledge of their physical abilities, which are usually acquired through ergometers dedicated to wheelchair users. The use of Ergometers Chair enables the rehabilitation of people with disabilities as well as their social inclusion through sport. In general, a daily use wheelchair is not compatible to the development of high-throughput physical activity, especially considering the anthropometric differences of individuals. The objective of this work is the design of an adjustable ergometer for wheelchair that can be used for wheelchair design custom paralympic considering different modalities, and also used for the assessment of fitness. Taking into account different seat adjustments tracks, back, foot rest, distance between hoops, hoops and inclination of the time, the structure was designed in aeronautical aluminum alloy tubes with manual settings. The ergometer also has a knee taper adjustment system and tibia towards greater stability of the athlete. The evaluation of the power levels is through LabVIEW application that monitors the signal strength of an electromagnetic device. This work presents the methodology of the project and the implications with the possible adjustments of the ergometer. The project is in intellectual property registration phase.

Keywords: wheelchair, paralympics, ergometer, adjustments, performance.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

As informações disponibilizadas neste texto são de responsabilidade única de seus autores, e compreendem parte de uma pesquisa científica extensa no campo da biomecânica e que fundamenta uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado do programa de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Contudo, aspectos mais profundos e reveladores deste estudo científico, bem como, as tecnologias aqui tratadas e desenvolvidas foram omitidos devido ao seu processo de proteção de propriedade intelectual.