

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM ERGÔMETRO PARA CADEIRANTES

Gina Lizette Anyull Salgado Cubides

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia,
Avenida João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica
glasca510@hotmail.com

Denize Vilela Novais

denizemecanica@yahoo.com.br

Cleudmar Amaral de Araújo

cleudmar@mecanica.ufu.br

Silvio Soares dos Santos

Faculdade de Educação Física, Universidade Federal de Uberlândia,
Rua Benjamin Constant, 1286 – Campus Educação Física
silvio@ufu.br

Resumo: *O objetivo deste trabalho é desenvolver um ergômetro adaptado em uma cadeira de rodas, que represente de forma mais fiel o gesto motor dos atletas paraolímpicos ou cadeirantes em geral, para que possibilite aos mesmos, serem avaliados fisicamente da mesma maneira que os não deficientes. O protótipo está sendo projetado e será construído ao término do estudo dos mecanismos do ergômetro, que é basicamente a estrutura de apoio do cadeirante, o sistema eletromagnético de geração de resistência e um aplicativo em ambiente LabVIEW® utilizado para avaliar testes aeróbios e anaeróbios. O equipamento a ser construído será de baixo custo, possuindo boa resistência mecânica, para resistir aos esforços, e principalmente dar segurança aos usuários. O equipamento será viabilizado para ser utilizado em centros de pesquisa e clínicas de reabilitação.*

Palavras-chave: *biomecânica, ergômetro, testes aeróbios, testes anaeróbios, cadeirantes, LabVIEW®*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente desponta como uma das grandes potências mundiais no esporte paraolímpico; porém há pouca disponibilidade de estudos e dados publicados na literatura, envolvendo tais atletas, mesmo em países mais desenvolvidos (Mello, 2002).

Sabendo-se que testes fisiológicos devem se aproximar ao máximo do gesto executado na modalidade a ser testada e que pessoas com paraplegia utilizam-se de cadeiras de rodas para desenvolver suas atividades de vida diária e mesmo atléticas, o desenvolvimento de mecanismos e aparelhos que possam se aproximar ao máximo desses padrões executados, torna-se de grande necessidade para que os resultados dos testes sejam válidos e confiáveis.

2. AVALIAÇÃO DE ATLETAS PARAOLÍMPICOS

Este trabalho vem ampliar o conhecimento na área do esporte paraolímpico, visando a integração cada vez mais efetiva destes indivíduos em suas comunidades, além de servir de

orientação e incentivo para o surgimento de várias alternativas de programas específicos, visando à melhora da saúde e da qualidade de vida desta população (Mello, 2002).

Em geral, existem dois métodos principais de avaliação do desempenho físico: testes de campo do condicionamento físico geral, os quais incluem várias mensurações que exigem demandas básicas de desempenho e avaliações laboratoriais das capacidades fisiológicas, como a potência aeróbica máxima, a potência anaeróbica e a economia do exercício.

Pode-se argumentar que o teste de condicionamento físico é importante para uma avaliação global do condicionamento geral. No entanto, o uso dessas baterias de testes não fornece as informações fisiológicas detalhadas necessárias para avaliar o nível atual de condicionamento físico ou a fraqueza potencial do atleta. Consequentemente são necessários testes laboratoriais mais específicos para obter informações relativas ao desempenho em eventos atléticos específicos (Powers et al, 2000).

A elaboração de testes laboratoriais para a avaliação do desempenho físico exige uma compreensão dos fatores que contribuem para o sucesso em certo esporte. Em geral, o desempenho físico é determinado pela capacidade de produção máxima de energia (processos aeróbicos e anaeróbicos máximos), da força muscular, da coordenação/economia dos movimentos e dos fatores psicológicos do indivíduo. A Figura 1 ilustra um modelo simples dos componentes que interagem para determinar a qualidade do desempenho físico. Muitos tipos de eventos atléticos exigem uma combinação de vários dos fatores citados para que ocorra um desempenho excelente. Entretanto, um ou mais desses fatores possuem um papel dominante na determinação do sucesso atlético. A corrida de 100 metros, por exemplo, requer não apenas uma boa técnica, mas também a produção de uma grande potência anaeróbica. (Powers et al, 2000).



Figura 1: Fatores que contribuem para o desempenho físico
(Fonte Powers& Howley)

Powers et al (2000), diz que a mensuração laboratorial do desempenho físico pode ser cara e demorada, mas mesmo assim, um programa de testes pode beneficiar não só o treinador como também o atleta pelo menos de três maneiras:

1- O teste fisiológico pode fornecer informações sobre os pontos fortes e os fracos do atleta em sua modalidade esportiva. Essas informações podem ser utilizadas como base para o planejamento dos programas de treinamento físicos individuais. Na maioria dos esportes, o sucesso atlético envolve a interação de vários componentes fisiológicos. No laboratório, o cientista do exercício pode mensurar esses componentes fisiológicos separadamente e fornecer informações ao atleta sobre quais componentes exigem melhoria a fim de que ele melhore seu desempenho atlético. Essas informações se tornam o fundamento da prescrição individualizada de exercícios que se concentram nos pontos fracos identificados.

2- O teste laboratorial fornece uma retroalimentação ao atleta sobre a efetividade de um programa de treinamento. Por exemplo, a comparação entre os resultados de testes fisiológicos

realizados antes e após um programa de treinamento fornece uma base para a avaliação do sucesso do programa de treinamento.

3- O teste laboratorial educa o atleta sobre a fisiologia do exercício. Ao participar de testes laboratoriais, o atleta aprende mais sobre os parâmetros fisiológicos que são importantes para o sucesso na sua modalidade esportiva. Isto é importante, uma vez que os atletas com um conhecimento básico da fisiologia elementar do exercício provavelmente tomarão melhores decisões pessoais a respeito da elaboração de programas de treinamento físico e nutricional.

Mello (2002), acredita que a maioria dos portadores de deficiências pode usufruir grandes benefícios dos aspectos fisiológicos, psicológicos e sociais do exercício e do esporte. Uma minoria consegue chegar ao estrelato de ser um atleta paraolímpico e ser campeão, tendo satisfação pessoal e servindo de exemplo para milhões de deficientes que estão confinados em suas residências.

A atividade física é sem sombra de dúvida um dos mais eficientes meios de promoção de saúde, sendo um dos meios de combater o sedentarismo, pois o sedentarismo é visto como um importante fator de risco para diversas doenças crônico-degenerativas que crescentemente acometem a humanidade.

As respostas ventilatórias, metabólicas e fisiológicas ao esforço subsidiam uma melhor interpretação diagnóstica e prognóstica dos resultados, além de estabelecerem, orientação e elaboração de programas personalizados de condicionamento físico. (Mello,2002)

Segundo Powers et al (2000), indivíduos com lesões ou paralisias dos membros inferiores podem ter o seu condicionamento aeróbico avaliado pela ergometria dos braços. Num esforço para fornecer uma forma mais específica de teste aos paraplégicos que praticam corridas em cadeiras de roda, alguns laboratórios modificaram uma dessas cadeiras conectando suas rodas a uma bicicleta ergométrica, de modo que a resistência para girar as rodas possa ser ajustada da mesma maneira que a carga é alterada na bicicleta ergométrica. Isso permite que os atletas em cadeira de rodas sejam testados utilizando os movimentos exatos usados por eles durante a corrida.

2.1 Ergômetro de Braço (cicloergômetro)

A bicicleta estacionária ou cicloergômetro foi sugerida como equipamento para aumentar a extensão dos movimentos do quadril, joelho e tornozelo, bem como para fortalecer os músculos (Houtz et al,1959; Dawson,1953). Muitos dos estudos envolvendo este dispositivo são direcionados para quantificar forças e suas respostas fisiológicas (Harman et al, 1987).

Um avanço foi a criação do ergômetro de braço, mostrado na Figura 2, e que surgiu com a proposta de auxiliar na reabilitação em clínicas, laboratórios de pesquisa, centros de aptidão e condicionamento cardiovascular, ou até centros de treinamento olímpicos (Nascimento,2004).

Desde o ano de 1970, uma quantia considerável de pesquisas enfocando as respostas cardiovasculares para o exercício na bicicleta de braço, validou o seu uso como ferramenta para a pesquisa de aptidão cardiovascular (Bressel et al, 2001).

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 subseqüentes, para a resistência muscular (Andrew et al, 1998).

Ergométricas com manivelas para braços são, em geral, confiáveis e válidas para a evolução clínica e funciona também para pacientes em cadeira de rodas, na performance de exercícios prescritos individualmente nos programas de treinamento de pacientes com lesão espinhal e outras deficiências físicas como hemiplegia e reabilitação cardíaca (Dicarlo, 1988; Nilsson et al, 1975).

Porém, equipamentos deste tipo não simulam a condição real de funcionamento de uma cadeira de rodas, o movimento que um atleta paraolímpico tem que fazer, ou seja, impulsionar a cadeira utilizando as guias laterais. Este movimento necessita de um esforço diferente daquele previsto em ergômetros de braço convencionais. O usuário ou o atleta paraolímpico precisa melhorar a sua condição para uma eficiente propulsão da cadeira.

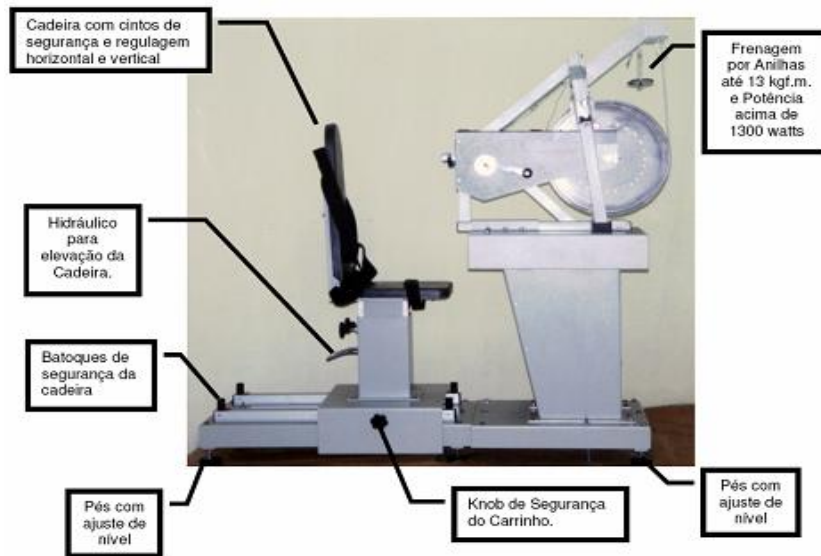


Figura 2: Ergômetro de braço M4100. Fonte: www.cefise.com.br

Indivíduos com paraplegia ou tetraplegia, apresentam uma redução na capacidade física de trabalho (Pollock et al, 1974; Gass et al, 1979), ocasionando uma diminuição da massa corporal, reduzindo a capacidade aeróbia, levando a condição de osteoporose e disfunções renais (Cowell et al, 1986). Prevenir a fadiga desses indivíduos pode garantir uma boa participação no trabalho e nas atividades recreativas (Dicarlo, 1986).

Indivíduos que participam de treinamento a altos níveis de resistência, tendem a ter uma baixa prevalência de mortalidade e doenças coronárias (Paffenbarger, et al, 1975), menor risco de hipertensão (Ressl et al, 1977), obesidade (Oscal, 1973) e ataque cardíaco (Paffenbarger et al, 1970).

Glaser e colaboradores (1981) constataram que a energia despendida para a locomoção na cadeira de rodas a uma velocidade de caminhada normal de 4 km/h é similar ou maior que para a caminhada de um indivíduo saudável e que o estresse cardiovascular é maior durante a operação na cadeira de rodas devido à menor porcentagem de massa muscular ativa, comparados à larga massa muscular das pernas.

No exercício com ergômetro de braços ou pernas, tensões de várias intensidades e direções são aplicadas, e todos esses esforços fazem parte do desenvolvimento do corpo humano, uma vez que evitam atrofias musculares e ósseas, e promovem sua manutenção (Marinheiro, 2003).

2.2. Características do Teste de Wingate

Na evolução humana, a capacidade anaeróbia foi um componente essencial para a sobrevivência, especialmente para os primeiros seres humanos, os quais dependiam mais do metabolismo anaeróbio do que do aeróbio para caçar e fugir do perigo (Saltin, 1990).

Atualmente, o metabolismo anaeróbio tem também sua significância prática, tanto em algumas modalidades esportivas, como em algumas atividades do cotidiano.

Assim, existe a necessidade de avaliação da potência e das capacidades anaeróbias. A potência anaeróbia pode ser definida como o máximo de energia liberada por unidade de tempo por esse sistema. Existem vários testes com o objetivo de avaliar a potência e as capacidades anaeróbias, dentre os quais o teste de Wingate é o mais utilizado, sendo desenvolvido durante a década de 1970 no Instituto Wingate, em Israel. A elaboração desse teste surgiu da necessidade de obter mais informações sobre o desempenho anaeróbio, uma vez que em algumas atividades diárias e, principalmente, nas modalidades esportivas há a necessidade da realização de movimentos com grande potência instantânea (Inbar et al, 1996).

Os testes de capacidade anaeróbia envolvem esforços de grande intensidade, com durações de frações de segundo até alguns minutos. O teste anaeróbio de Wingate tem duração de 30 segundos, durante a qual o indivíduo que está sendo avaliado tenta pedalar o maior número possível de vezes contra uma resistência fixa, objetivando gerar a maior potência possível nesse período de tempo. A potência gerada durante os 30 segundos é denominada potência média, e reflete a resistência localizada do grupo muscular em exercício, utilizando energia principalmente das vias anaeróbias. A maior potência gerada em 3 ou 5 segundos é denominada de potência de pico e fornece informação sobre o pico de potência mecânica que pode ser desenvolvido pelo grupo muscular que realiza o teste. Como a potência de pico ocorre normalmente nos primeiros 5 segundos do teste que proporciona também o índice de fadiga, o qual pode ser calculado com a Equação 1.

$$\text{Índice de Fadiga(\%)} = \left[\frac{(\text{Potência de Pico} - \text{Menor Potência durante o teste}) \times 100}{\text{Potência de Pico}} \right] \quad (1)$$

O índice de fadiga informa a queda de desempenho durante o teste. A potência média e a potência de pico podem ser expressas em relação à massa corporal, permitindo a comparação entre pessoas de diferentes massas corporais (Inbar et al., 1996).

Existem programas específicos para o teste de Wingate disponíveis no mercado, que fornecem automaticamente essas medidas. Além disso, o teste anaeróbio de Wingate pode ser realizado tanto na sua versão original para membros inferiores, quanto em uma forma adaptada para membros superiores. Em geral, a potência média desenvolvida por indivíduos saudáveis não atletas utilizando os membros superiores é cerca de 65% da gerada com os membros inferiores. Relação similar é observada com a potência de pico (Inbar et al., 1996).

Mello (2002) define as variáveis do teste de Wingate da seguinte forma:

- *Potência máxima*: é a potência mecânica máxima promovida durante o teste, que ocorre tipicamente durante os primeiros segundos, este índice é normalmente medido através da potência média obtida em um determinado período de três ou cinco segundos.

- *Potência média ou Capacidade Anaeróbia*: é a potência média sustentada durante o período de 30 segundos e pode ser obtida através da média dos valores obtidos durante os 10 segmentos de três segundos ou os seis segmentos de cinco segundos.

- *Índice de fadiga*: é o grau de queda de potência durante o teste e calculado como uma porcentagem da potência máxima, isto é, a potência mínima deve ser subtraída da máxima e esse resultado deve ser multiplicado por 100, sendo que o resultado obtido deve ser dividido pela potência máxima, resultando no índice de fadiga.

- *Trabalho total*: alguns laboratórios avaliam o trabalho total durante o teste multiplicando a potência média pelo tempo de teste.

3. ERGÔMETRO ADAPTADO

Alguns equipamentos foram desenvolvidos para a aplicação de testes físicos em pessoas com deficiências, sendo que, na maioria dos casos, estes equipamentos são oriundos de testes já existentes aplicados às pessoas não portadoras de deficiências, por isso não se adaptam perfeitamente ao gesto motor executado pelo atleta paraolímpico, ou seja, os músculos requeridos no movimento da cadeira de rodas, como mostra a Figura 3, diferem daqueles utilizados nos ergômetros de braço existentes.

Baseado nas informações obtidas nos testes é que o treinador fará ou reformulará o treinamento do atleta.

O objetivo deste trabalho, como já foi descrito inicialmente, é o projeto e construção de um equipamento utilizado para a avaliação física de pessoas portadoras de deficiência física (paraplegia), além de desenvolvimento de um software em ambiente LabVIEW visando a aquisição e manipulação dos dados.

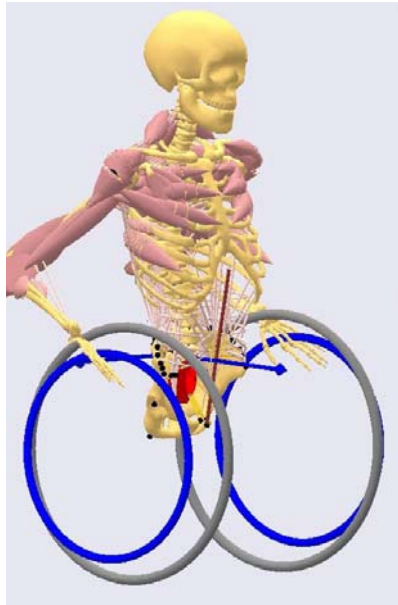


Figura 3: Gesto Motor e músculos requeridos para movimentar em uma cadeira de rodas
Fonte: www.anybodytech.com/128.0.html

O equipamento possuirá um princípio de funcionamento similar a um ergômetro de braço, mostrado na Figura 4, porém será adaptado a uma cadeira de rodas. O equipamento será utilizado para avaliação física dos portadores de deficiência utilizando testes padrões, como o Teste de Wingate, que é o teste anaeróbico mais utilizado.



Figura 4: Ergômetro de Braço mais Utilizado

4. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA A SER PROJETADO

No ergômetro adaptado, as rodas estarão suspensas para possibilitar ao usuário que o mesmo realize o mesmo movimento como se estivesse sobre o chão. Neste caso, o usuário impulsionará as guias laterais da cadeira, que movimentarão as rodas e através de um sistema de transmissão simulará os esforços executados durante o movimento, como pode ser verificado no esquema da Figura 5.

A parte estrutural é meramente ilustrativa e as fixações e desenhos possuirão outro formato após as análises prévias. Os sensores de torque e tacômetro estarão adaptados diretamente ao sistema eletromagnético de geração de resistência. Estes sinais serão adquiridos e transferidos, utilizando uma placa de aquisição de sinais, diretamente ao microcomputador. Estes sinais serão tratados e manipulados em função dos testes aeróbios e anaeróbios a serem desenvolvidos.

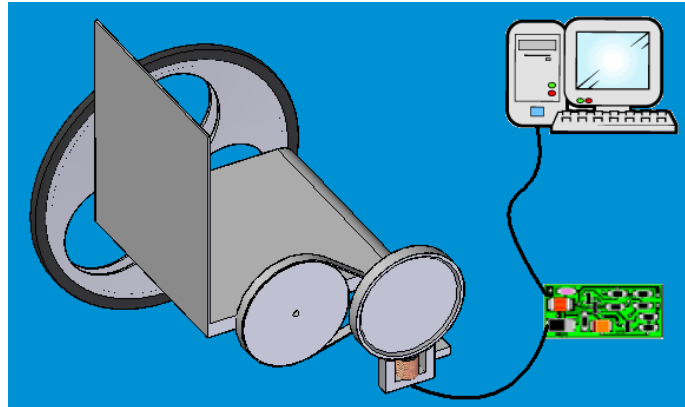


Figura 5: Desenho esquemático mostrando os principais elementos constituintes do ergômetro de cadeira de rodas.

Os colaboradores avaliados neste trabalho servirão apenas para ajustar e validar o projeto do equipamento. Neste caso, a proposta do projeto já foi aprovada junto ao conselho de ética da universidade.

No sentido de otimizar a performance não só de atletas paraolímpicos, assim como de pessoas portadoras de deficiência em geral, cujos mecanismos de aquisição de dados referentes às suas capacidades fisiológicas não estejam perfeitamente adaptados é que se torna relevante o desenvolvimento desse projeto, que tem por finalidade básica preencher a lacuna existente entre as metodologias já consagradas para as pessoas não deficientes para aquelas portadoras de deficiência.

Deve-se destacar que existem sistemas similares importados, porém de custo elevado e de difícil acesso para a maioria dos centros de pesquisa ou treinamento dos deficientes físicos. Portanto, o projeto e construção de um ergômetro de cadeira de rodas de fabricação nacional e de baixo custo adaptado para a aplicação de testes de potência aeróbia e anaeróbia possibilitarão avaliar a aptidão física de atletas com paraplegia de uma forma mais realística.

O projeto está sendo realizado na Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU e possui parceria com a Faculdade de Educação Física/UFU, contando com a colaboração de professores especializados em atividade motora e adaptação, com experiência em treinamento desportivo com atletas paraolímpicos, que inclusive fazem parte da equipe paraolímpica Brasileira.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos orientadores deste trabalho e a aluna de Iniciação Científica Denize, ao Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM), à Universidade Federal de Uberlândia pelo incentivo a pesquisa, ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade que não mediram esforços para que esse projeto fosse aprovado e aos órgãos de fomento CNPq e FAPEMIG.

6. REFERÊNCIAS

Andrews, J.R. and Harrelson, G.L. and Wilk, K.E., 1998, "Reabilitação Física das Lesões Desportivas", 2 ed., Guanabara Koogan S.A.

- Bressel, E. and Bressel, M. and Marquez, M. and Heise, G.D.,2001, "The effect of handgrip position on upper extremity neuromuscular responses to arm cranking exercise", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol. 11, pp 291-298.
- Cowell, L.L. and Squires, W.G. and Raven, P.B.,1986, "Benefits of aerobic exercise for the paraplegic: A brief review", *Med. Sci. Sports Exerc*, Vol. 18, pp.501-08.
- Dawson, C.D.,1953, "An Intensive Exercise Program for use in Knee Surgery and Phatology", *Archives Phys. Med.*,Vol.34, pp.730-755.
- Dicarolo, S.E.,1986, "Effect of arm ergometry training on wheelchair propulsion endurance of individuals with quadriplegia", *Physical Therapy*, Vol.14, pp 40-44.
- Dicarolo, S. E., 1988, "Effect of Arm Ergometry Training on Wheelchair Propulsion Endurance of Individuals with Quadriplegia", *Physical Therapy*, Vol. 68, pp 40-44.
- Gass, G.C. and Camp, E.M.,1979 "Physiological characteristics of trained Australian paraplegic subjects", *Med. Sience Sports*, Vol. 11, pp.256-259.
- Harman, E. and Knuttgen, H.G. and Frykman, P.,1987, "Automated data collection and processing for a cycle ergometer", *J. Appl. Physiol.*, Vol.62, n.2, pp.831-836.
- Houtz, S. J. and Fischer, J.F.,1959, "An Analysis of Muscle Action and Joint Excursion During Exercise on a Stationary Bicycle", *The J. of Bone and Joint Surgery*, Vol. 41, n.1, Jan., pp. 123-131.
- Inbar, O. and Bar-or, O. and Skinner, J.S. "The Wingate anaerobic test", Champaign, IL., *Human Kinetics*, 1-109,1996.
- Marinho, C.A., 2003, "Desenvolvimento de Máquina de Movimentos Cíclicos para testes Biomecânicos", São Carlos. Dissertação de Mestrado – Interunidades Bioengenharia – EESC/FMRP/IQSC – Universidade de São Paulo, 51p.
- Mello, M.T.,2002, "Paraolimpíadas Sidney 2000: avaliação e prescrição do treinamento dos atletas brasileiros", São Paulo: Atheneu.
- Nascimento, A.P.C.,2004, "Projeto e desenvolvimento de um Ciclo Ergômetro para Membros Superiores e Inferiores", São Carlos: Dissertação de Mestrado,2004.
- Nilsson, S. and Staff, P.H. and Pruett, E.D.R.,1975, "Physical work capacity and the effect of training on subjects with long standing paraplegia", *Scan. J. Rehabil. Med.*, Vol.7, pp.51-56.
- Oscal, L.B.,1973, "The role of exercise in weight control", *Exerc. Sport Science Rev.*, Vol.1, pp. 103-23.
- Paffenbarger, R.S. and Hale, W.E.,1975, "Work activity and coronary heart mortality", *New Engl. Journal Med.*, Vol. 292, pp.545-550.
- Paffenbarger, R.S. and Laughlin, M.E. and Gima, A.S., et all,1970, "Work activity in longshoremen as related to death from coronary heart disease and stroke", *New Engl. Journal Med*, Vol. 282, pp.1109-1114.
- Powers, S.K. and Howley,E.T.,2000, "Fisiologia do Exercício: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho", 3ed, São Paulo: Manole Ltda.
- Pollock, M.L. and Miller, H.S. and Linnerud, A.C., et all,1974, "Arm pedalling as an endurance training regimen for the disabled", *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.55, pp.418-424.
- Ressler, J. and Chrastek, J. and Jandova, R.,1977, "Haemodynamic effects of physical training in essential hypertension", *Acta Cardiol. (Brux)*, Vol.32, pp. 121-33.
- Saltin, B.,1990, "Anaerobic capacity: past,present and prospective", *Biochemistry of Exercise*. Champaign, IL *Human Kinetics*, pp. 387-412.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ERGOMETER TO WHEELCHAIR USERS

Gina Lizette Anyull Salgado Cubides

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia,
Avenida João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica
glasca510@hotmail.com

Denize Vilela Novais

denizemecanica@yahoo.com.br

Cleudmar Amaral de Araújo

cleudmar@mecanica.ufu.br

Silvio Soares dos Santos

Faculdade de Educação Física, Universidade Federal de Uberlândia,
Rua Benjamin Constant, 1286 – Campus Educação Física
silvio@ufu.br

Abstract: *The objective of this work is to develop an ergometer adapted to wheelchair, that exactness represents the motor gesture of paraolympics athletes or wheelchair users, so that it makes possible to the same ones, to be physically evaluated in the same way that the not physicist deficient. The prototype is being designed and will be constructed after the planning to ergometer mechanisms, that is basically the wheelchair user support structure, the electromagnetic system of resistance generation and an software developed in LabVIEW® environment used to evaluate aerobic and anaerobic tests. The equipment was designed to be security and to loading with low cost and the high mechanic resistance. The idea is developed the equipment to be used in research centers and rehabilitation clinics.*

Keywords: *Biomechanics, Ergometer , Aerobic tests, Anaerobic tests, Wheelchair user, LabVIEW®*