

AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL PARA REALIZAÇÃO DE TESTES ERGOMÉTRICOS INCREMENTAIS EM REGIME DE LAÇO FECHADO

C. D. Lazzari*, F. Diefenthaler**, D. O. H. Suzuki* e J. L. B. Marques*

* Instituto de Engenharia Biomédica, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica,
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

** Laboratório de Biomecânica, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Brasil
e-mail: caetano.lazzari@ieb.ufsc.br

Resumo: O objetivo do presente estudo é investigar as diferenças na realização de exercícios em regime de laço aberto (estratégia fixa e definida pelo teste) e em regime de laço fechado (estratégia escolhida pelo usuário). Para tal foi desenvolvida uma metodologia capaz de simular uma tarefa de laço fechado comparável a uma tarefa em laço aberto por meio de um ambiente de realidade virtual como entrada de potência, que simula um teste ergométrico incremental em um velódromo. Os ensaios realizados em caráter preliminar demonstraram a funcionalidade da plataforma desenvolvida, sendo que ensaios com o grupo alvo de ciclistas serão realizados futuramente.

Palavras-chave: Exercício em laço fechado, Ciclismo, Teste ergométrico incremental, Realidade virtual.

Abstract: *The aim of the present study was to investigate the differences between open loops (pace dependent protocol) and closed loops testing (user-defined pace). Thus, it was possible to create a methodology to compare open and closed loop exercises by means of a virtual reality environment as a power input that mimics a step incremental protocol in a velodrome. Preliminary tests showed that the methodology is applicable. The target group trial with cycling athletes is going to be held in the future.*

Keywords: *Self-paced exercise, Cycling, Incremental cycle ergometer test, Virtual reality.*

Introdução

Os testes incrementais ergométricos são base para muitos protocolos experimentais e também costumam servir de base para realização de programas de treinamento. Em um teste incremental máximo clássico o sujeito corre ou pedala em uma esteira ou bicicleta ergométrica, respectivamente, enquanto a potência ou velocidade aumenta progressivamente ou em pequenos degraus depois de decorrido um dado tempo [1]. Esta técnica permite explicar muitos fenômenos fisiológicos e também permite traçar gráficos fisiológicos cinéticos, dando suporte a diversas teorias fisiológicas [2]. No entanto, os protocolos incrementais seguidamente sofrem críticas por fornecerem um exercício de laço aberto, onde a estratégia (*pacing strategy*) é fixa e definida pelo teste [3]. Estas críticas são baseadas no

fato de que, durante uma prova, o atleta é capaz de determinar a sua própria estratégia, considerando as diversas informações prévias como experiência adquirida, objetivo da prova, dentre outras. O atleta também recebe informações interativamente realimentadas do meio ambiente e de suas próprias variáveis, tais como sua posição em relação aos oponentes, distância restante, tempo, sensação de esforço/dor, frequência cardíaca, dentre outras respostas fisiológicas, esteja o sujeito tentando controlar conscientemente estes fatores por meio de instrumentos ou não. A execução de exercícios em laço aberto em um protocolo experimental pode, em alguns casos, levar a resultados submáximos em relação ao consumo de oxigênio [4]. Indo além, pode se cogitar que existam outras variáveis subestimadas quando medidas em laço aberto (e.g. potência máxima).

Uma das maneiras de realizar o teste incremental em caráter de laço fechado é utilizar como parâmetro de incremento o nível de percepção de esforço do atleta ao invés da potência [4]. Desta maneira, o usuário define a potência necessária para atingir um dado patamar de esforço ou dor. Com esta técnica é possível, por exemplo, determinar um consumo de oxigênio maior do que o máximo previsto em um protocolo incremental tradicional. Porém a percepção de esforço pode ser considerada subjetiva, podendo ser afetada, por exemplo, pela hidratação, reserva carboidratos, cafeína [5], etc.

Abre-se espaço então para a busca de novos métodos que permitam máxima compatibilidade com os ensaios incrementais tradicionais, menos subjetivos e que tenham características predominantemente de laço fechado. Certamente as soluções para este problema podem ser extremamente heterogêneas, sendo que existem esforços tanto para minimizar o efeito das diversas variáveis não controladas para testes em campo, como para controlar o máximo possível de variáveis a fim de simular as condições de prova em laboratório. Sendo assim, o objetivo do presente estudo é propor um protocolo que possa ser parcialmente compatível com os protocolos incrementais tradicionais, porém sendo realizado em regime de laço fechado. Para tal, sugere-se que cada novo estágio não apresente uma variação de potência instantânea em forma de degrau, e sim um aumento progressivo na carga, determinado pelo próprio voluntário, sendo este o responsável por determinar a

potência aplicada durante todo o teste. Será necessário então desenvolver um mecanismo que permita manipular artificialmente a potência aplicada pelo atleta e espera-se que a potência média possa ser mantida dentro de certos limites, a fim de compará-la ao teste incremental convencional.

Materiais e Métodos

Para realizar os experimentos propostos, foi utilizado um cicloergometro computadorizado com frenagem magnética (*Lode Excalibur Sport*) e um computador pessoal equipado com processador *Intel® Core™ i5-4460* Processor e placa de vídeo *Nvidia GeForce® GT™ 750M* com monitor de imagens de 52 pol. O cicloergometro utilizado é considerado o padrão ouro para medição da potência produzida [6]. Além disto, possui um interessante modo de funcionamento, elíptico, no qual a potência pode ser mantida constante a todo instante de funcionamento, independentemente da cadência (taxa de revoluções por segundo do eixo da pedivela), calculando a carga magnética a ser acoplada. Também possui um modo no qual a cadência pode ser mantida constante, calculando a carga necessária a ser acoplada independentemente da potência aplicada. Os protocolos incrementais foram realizados sob o parecer do comitê de ética CAAE 06159212.7.0000.0121.

Teste Incremental Máximo Clássico – Por meio do modo de potência constante, a realização de um teste incremental máximo clássico (*IncElip*) torna-se muito simples, uma vez que o modo elíptico calcula interativamente a carga magnética a ser acoplada. Basta ao avaliador definir diferentes níveis de potência para o usuário $p_{usuário}$, iniciando a um dado nível de potência p_1 , sendo que depois de decorrido certo período definido de tempo, esta potência será acrescida de certo valor $p_{incremento}$. Este processo se repetirá até o usuário entrar em exaustão, forçando-o a interromper o teste. A Figura 1(a) exemplifica este processo em forma de fluxograma. No item (b) da Figura 1, ressalta-se a característica de laço aberto deste tipo de ensaio: O usuário é obrigado a manter exatamente a potência indicada a cada ciclo.

Teste Incremental em Laço Fechado – Na tarefa de laço fechado proposta (*IncLF*), ao contrário, o usuário irá determinar a potência a ser aplicada. Mas para manter a compatibilidade com o ensaio incremental do tipo degrau tradicional, a potência média a cada estágio deverá ser aproximadamente a mesma. Para facilitar a compreensão da tarefa, utiliza-se um ambiente de realidade virtual, onde um oponente fictício controla os níveis de potência p_{oior} a cada estágio de duração $t_{incremento}$, bastando ao sujeito segui-lo, mantendo uma distância máxima menor que d_{limite} . Esta distância máxima representa o máximo desvio de energia que o usuário pode manter em relação ao oponente. Quando o usuário não conseguir mais produzir energia, espera-se ver o oponente afastando-se gradualmente, até atingir a distância d_{limite} , que representa um desvio máximo de energia dentro do estágio, encerrando o teste incremental. A Figura 2(a) exemplifica este processo.

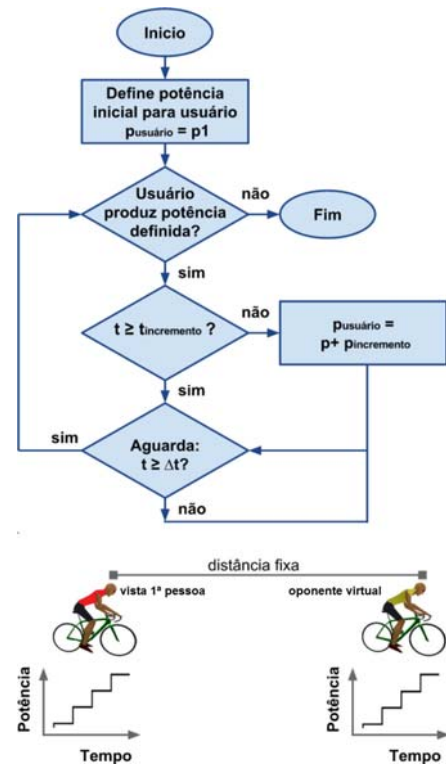


Figura 1: Teste incremental tipo degrau *IncElip*; (a) Fluxograma; (b) Perfis de potência e distância prevista em relação ao oponente virtual.

No item (b) da Figura 2, ressalta-se a característica de laço fechado deste tipo de ensaio: O usuário define sua potência, podendo se aproximar ou afastar ligeiramente do oponente virtual, que executa uma estratégia do tipo degrau constante.

Ambiente de Realidade Virtual – Para poder realizar a dinâmica proposta, com um oponente fictício, é necessário um ambiente de realidade virtual. Optou-se pelo desenvolvimento de um ambiente próprio por causa do custo, sincronização e futuras possibilidades de expansão. A plataforma escolhida para desenvolvimento foi o software *Blender 3D*, versão 2.70. Esta ferramenta oferece um pacote de código aberto abrangente, que possibilita modelar, encenar e simular objetos tanto *offline* como em tempo real.

As Figuras 3 e 4 ilustram os principais componentes do ambiente de realidade virtual. A Figura 3 mostra em detalhe o modelo da bicicleta utilizado pelo oponente fictício, renderizado *offline*. Já a Figura 4(a) ilustra o cenário, que representa um velódromo, juntamente com o oponente em sua versão completa, renderizado em tempo real, a 60 quadros/seg com uma resolução de 800 por 600 *pixels*.

Protocolo Experimental – O protocolo experimental realizado em duas etapas: Em uma etapa é executado o teste incremental clássico, com potência inicial p_1 de 50 W, incremento de potência $p_{incremento}$ de 50 W, sendo incrementada em um tempo de incremento $p_{incremento}$ de 120 s definidas para o voluntário. Na outra etapa será realizado o teste incremental de laço fechado

proposto, nas mesmas condições para $p1$, $p_{incremento}$ e $t_{incremento}$ para o ator do ambiente de realidade virtual, com uma cadência fixa equivalente.

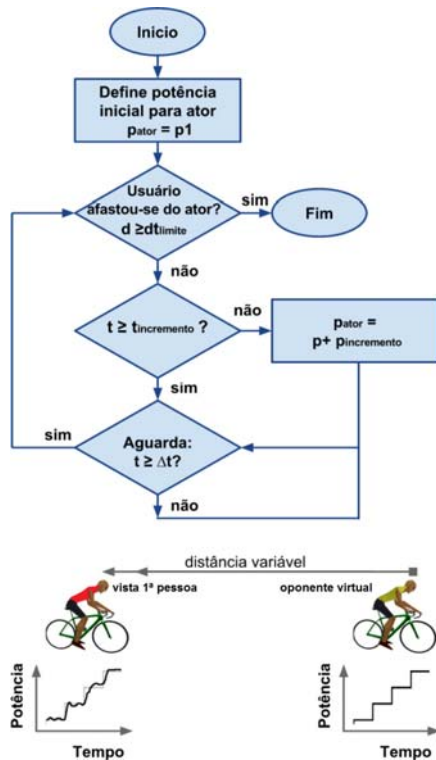


Figura 2: Teste incremental com carga definida pelo ambiente de realidade virtual *InclLF*; (a) Fluxograma; (b) Perfis de potência e distância prevista em relação ao oponente virtual.



Figura 3: Modelo tridimensional da bicicleta.

Para minimizar os efeitos psicológicos do ambiente de realidade virtual, será exibida realimentação visual com distância *constante* para o oponente, que pedala a uma cadência proporcional a sua potência. A Figura 4 ilustra a visão prevista para o usuário do sistema, ressaltando que a distância para o ator é fixa para no teste incremental clássico e variável para no teste incremental em laço fechado.

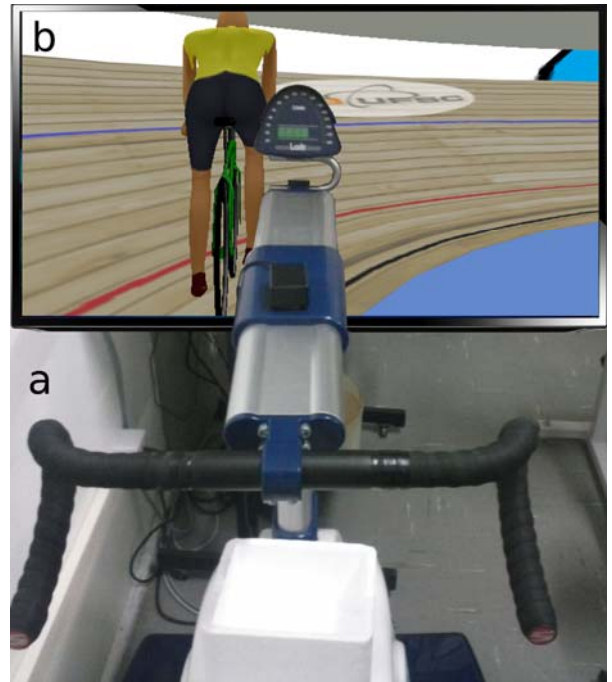


Figura 4: (a) Representação da vista geral para o voluntário; (b) destaque para cena renderizada.

Resultados

Desempenho Gráfico – O ambiente de realidade virtual pôde ser executado a uma taxa média de $59,4 \pm 0,6$ quadros/seg. Durante a operação do sistema, não foi encontrada nenhuma situação capaz de prejudicar o desempenho abaixo do limiar de 30 quadros/seg. Na situação mais crítica detectada no modo de depuração identificou-se uma taxa mínima de 58,1 quadros/seg, excluído os primeiros instantes de funcionamento do ambiente de realidade virtual (<1s) e reajustes do tamanho da janela, onde são esperadas flutuações.

Dados Preliminares – Os dados preliminares de potência *versus* tempo para dois sujeitos são apresentados pela Figura 5. Ambos os sujeitos são indivíduos saudáveis, que não praticaram ou não praticam atividades de ciclismo a pelo menos cinco anos. A Tabela 1 compara a potência média e desvio padrão dos resultados do Teste Incremental Máximo Clássico, executado em modo elíptico (*InclElip*) com o Teste Incremental em Laço Fechado (*InclLF*) proposto.

Discussão

Ressalta-se de antemão que o grupo amostral de dois sujeitos é considerado insuficiente para caracterizar uma população, devendo ser ampliado em futuros trabalhos. No entanto, é suficiente para comprovar o funcionamento do sistema proposto e, possivelmente, cogitar hipóteses.

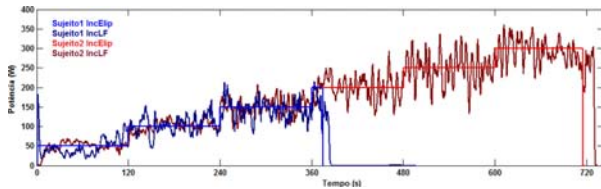


Figura 5: Resultados preliminares para o Sujeito 1 (azul) e Sujeito 2 (vermelho): *IncElip* (tons claros) e *IncLF* (tons escuros), repetido após 48h.

Tabela 1: Resultados para potência média desenvolvida em cada estágio dos testes incrementais *IncElip* e *IncLF*. Os estágios não completados (<120s) foram suprimidos, indicados pelo destaque riscado (—).

| Potência média @ Cadência média (Tempo do estágio) | | | | |
|--|--|--|---|--|
| Nominal | IncElip | | IncLF | |
| | Sujeito1 | Sujeito2 | Sujeito1 | Sujeito2 |
| 50 W | 50 W | 50 W | 49 W | 49 W |
| | ±0 W | ±0W | ±29 W | ± 35 W |
| | @89 RPM ± 2 RPM (120 s) | @80 RPM ± 1 RPM (120s) | @90 RPM ± 0 RPM (120s) | @80 RPM ± 0 RPM (120s) |
| 100 W | 100 W | 100 W | 100 W | 104 W |
| | ±0 W | ±0 W | ±18 W | ± 34W |
| | @86 RPM ± 3 RPM (120 s) | @80 RPM ± 1 RPM (120s) | @90 RPM ± 0 RPM (120s) | @80 RPM ± 0 RPM (120s) |
| 150 W | 150 W | 150 W | 150 W | 142 W |
| | ±0 W | ±0 W | ±31 W | ± 40 W |
| | @88 RPM ± 3 RPM (120 s) | @80 RPM ± 2 RPM (120s) | @90 RPM ± 0 RPM (120s) | @80 RPM ± 0 RPM (120s) |
| 200 W | 200 W | 200 W | 199 W | 157 W |
| | ±0 W | ±0 W | ±23 W | ± 58 W |
| | @89 RPM ±1 RPM (120 s) | @66 RPM ±14 RPM (14s) | @90 RPM ± 0 RPM (120s) | @80 RPM ± 0 RPM (18s) |
| 250 W | 250 W | | 248 W | |
| | ±0 W | | ±31 W | |
| | @90 RPM ±2 RPM (120 s) | | @90 RPM ± 0 RPM (120s) | |
| 300 W | 300 W | | 290 W | |
| | ±0 W | | ±45 W | |
| | @88 RPM ±10 RPM (105 s) | | @90 RPM ± 0 RPM (120 s) | |
| 350 W | | | 273 W | |
| | | | ±39 W | |
| | | | @90RPM ± 0 RPM (8 s) | |

A análise empírica dos resultados para os dois sujeitos sugerem que o protocolo proposto pode fornecer níveis de incremento semelhantes aos de um protocolo incremental tradicional em laço aberto, considerando apenas a potência média, apesar da variabilidade instantânea. Percebe-se também certa diferença nas condições limite, onde a potência máxima é diminuída, sendo o sujeito finalmente “vencido” por seu oponente virtual, ao invés de encerrar catastróficamente o teste.

Conclusão

Este trabalho demonstrou ser possível construir um protocolo de ciclismo incremental com característica de laço fechado, onde o voluntário define a potência aplicada, com níveis de incremento semelhantes aos de um protocolo incremental tradicional. Além disso, o protocolo é capaz de manipular a potência aplicada juntamente com a cadência graças ao ambiente de realidade virtual, sendo que os autores não têm conhecimento de outro protocolo capaz de realizá-lo automaticamente, sem comando verbal e/ou instruções prévias. Os resultados obtidos até o momento não são suficientes para análises fisiológicas, mas validam a plataforma desenvolvida.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sua gratidão ao IEB-UFSC, GPBIO-UFSC e LAEF-UFSC e aos colegas J.O. Berneira e R.L. Sakugawa pelo apoio a este de projeto, executado com recursos do CNPq.

Referências

- [1] Basset FA, Boulay MR. Treadmill and cycle ergometer tests are interchangeable to monitor triathletes annual training. *J Sports Sci Med.* 2003; 2(3): 110-6.
- [2] Zoladz JA, Korzeniewski B. Physiological background of the change point in VO₂ and the slow component of oxygen uptake kinetics. *J Physiology and Pharmacology.* 2001; 52(2).
- [3] Marino FE, Gard M, Drinkwater, EJ. The limits to exercise performance and the future of fatigue research. *Br J Sports Med.* 2011; 45(1): 65-7.
- [4] Mauger AR, Sculthorpe N. A new protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *Br J Sports Med.* 2012; 46:59-63.
- [5] Killen LG, Green JM, O’Neal EK, McIntosh JR, Hornsby J, Coates TE. Effects of caffeine on session ratings of perceived exertion. *Eur J Applied physiology.* 2013; 113(3): 721-7.
- [6] Earnest CP, Wharton RP, Church TS, Lucia A. Reliability of the Lode Excalibur Sport Ergometer and applicability to CompuTrainer electromagnetically braked cycling training device. *J Strength Cond Res.* 2005; 19: 344-8.