

## RELAÇÃO ENTRE BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA E LIMIARES VENTILATÓRIOS DE ESFORÇO

B. Jotta\*, A. B. B. Coutinho\*, T. S. Carvalho\*, A. L. Fonseca\*, A. V. Pino\* e M. N. Souza\*

\* Programa de Engenharia Biomédica-COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil \*

e-mail: bjotta@yahoo.com.br

**Resumo:** O objetivo desse estudo foi investigar a viabilidade de se estimar o limiar ventilatório (LV) durante um teste em esteira por meio de parâmetros de espectroscopia de impedância bioelétrica (BIS). A amostra foi composta por seis homens e uma mulher ( $22 \pm 5$  anos,  $65 \pm 9,8$  kg de massa corporal,  $171,5 \pm 8,6$  cm de altura). Os voluntários foram submetidos a um teste de esforço progressivo usando um protocolo de rampa, durante o qual foram coletados dados de bioimpedância na coxa, assim como dados sobre as trocas gasosas. O LV foi calculado com base em métodos automáticos relatados na literatura e por inspeção visual. Os dados do BIS foram resumidos por um único parâmetro, chamado de impedância equivalente ( $Z_e$ ), a fim de observar a sua cinética em função da carga de exercício. Uma função polinomial foi utilizada para ajustar a série cinética do  $Z_e$ , e a carga de exercício correspondente ao mínimo de tal função foi adotada como a estimativa da carga observada no LV. Resultados do LV estimado pela bioimpedância ( $LV_{ze}$ ) diferiram em média 35 watts em comparação ao método de ergoespirometria mais concordante com as estimativas geradas por bioimpedância. Concluiu-se que técnicas de bioimpedância apresentam potencial para serem usadas na estimação do LV, porém mais estudos são necessários.

**Palavras-chave:** Bioimpedância, limiar ventilatório, fadiga.

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the feasibility of estimating the ventilatory threshold (VT) during a test in treadmill by parameters obtained using Bioelectrical impedance spectroscopy (BIS). The sample consisted of 6 males and 1 female volunteers ( $22 \pm 5$  years,  $65 \pm 9.8$  kg of body mass,  $171.5 \pm 8.6$  cm height). Volunteers were submitted to a progressive exercise test using a ramp protocol, during which bioimpedance data were measured in their thighs as well as data related to gas exchange were obtained. VT was computed based on automatic methods reported in the literature and by visual inspection. The BIS data were summarized by a single parameter called equivalent impedance ( $Z_e$ ), in order to observe its kinetics as a function of the exercise load. A polynomial function was used to fit the kinematic series of  $Z_e$ , and the exercise load corresponding to the minimum of such function was

*adopted as the estimate of the load observed in the VT. Results of the estimated VT by bioimpedance ( $LV_{ze}$ ) were 35 watts lower than traditional methods used in ergospirometry. It was concluded that the bioimpedance techniques can be potentially used to estimate VT but further studies are necessary.*

**Keywords:** Bioimpedance, ventilatory threshold, fatigue.

### Introdução

O Limiar anaeróbico (LA) é definido como a intensidade de esforço onde se estabelece a acidose metabólica provocada por um aumento da concentração de lactato no sangue [1,2]. Esse conceito tem sido empregado na preparação física de atletas e no exercício físico com fins de promoção da saúde [1,2].

Um dos métodos de obtenção dessa informação é a técnica de ergoespirometria, a qual através das trocas gasosas durante um teste progressivo de esforço é possível determinar o LA [2]. Essa determinação ocorre com a identificação de dois limiares metabólicos, chamados limiares ventilatórios 1 e 2, ou Limiar Ventilatório (LV) e Ponto de Compensação Respiratória (CR). No entanto, o fato da grande utilização da ergoespirometria ocorrer principalmente em ambientes clínicos e o alto custo dos equipamentos utilizados [3] parece fomentar o desenvolvimento de opções alternativas capazes de identificar a transição do metabolismo aeróbico para anaeróbico.

Alvarenga [4] investigou a possibilidade de se estimar o limiar de lactato (LL) através da espectroscopia de impedância bioelétrica (BIS) durante teste de esforço progressivo em ciclo ergômetro. Embora os limiares ventilatórios e sanguíneos, como o LL, sejam utilizados com o mesmo propósito no treinamento de atletas e prescrição do exercício, não se observa na literatura um estudo sobre a possibilidade de estimativa do LV através de bioimpedância elétrica.

O objetivo do presente trabalho foi estudar a utilização de parâmetros oriundos de BIS na determinação do LV durante teste de esforço progressivo, comparando tal abordagem com outros métodos classicamente utilizados em ergoespirometria para a mesma finalidade.

## Materiais e métodos

**Amostra** – A casuística foi constituída por sete voluntários, sendo seis homens e uma mulher, com médias de idade  $22 \pm 5$  anos; massa corporal  $65 \pm 9,8$  kg; estatura  $171,5 \pm 8,6$  cm. Todos os voluntários praticavam corrida, minimamente três vezes por semana. O trabalho foi submetido e aprovado no comitê de ética em pesquisa do Hospital Clementino Fraga Filho (processo n° 089/11).

**Protocolo Experimental** – Os voluntários foram preparados para o teste de esforço, com realização de tricotomia e retirada do extrato córneo, através de gaze e solução fisiológica. Esses procedimentos foram realizados no tórax e na parte anterior da coxa, visando respectivamente a colocação de eletrodos para a medição do eletrocardiograma e da bioimpedância. Os voluntários eram instruídos quanto às peculiaridades do teste de esforço e da técnica de ergoespirometria pelo médico cardiologista que acompanhou os testes

Os voluntários foram submetidos a um teste de esforço progressivo em protocolo de rampa, com incrementos de carga em intervalos curtos de tempo, na ordem de 6 segundos e a duração total entre 8 e 12 minutos. Para o estabelecimento da razão de incremento foram estimadas velocidades e inclinações iniciais e finais, com base nas velocidades de treinos mencionadas pelos voluntários. O teste foi de caráter máximo e de interrupção voluntária, sinalizada pelo voluntário, sendo interrompido após o voluntário sinalizar o alcance de seu nível máximo de esforço, impossibilitando a continuação do teste.

**Instrumentação** – Os dados de bioimpedância foram obtidos pelo método bipolar de espectroscopia baseado na resposta de corrente a um degrau de tensão (BIS-STEP) [5]. Essa técnica pode ser considerada equivalente a uma análise multifrequencial de 1 a 500 kHz em virtude das propriedades espectrais da excitação em degrau. A técnica BIS-STEP é um método que utiliza um arranjo bipolar de eletrodos, no qual a impedância de eletrodos deve ser considerada no modelo elétrico que fornece a estimativa teórica da resposta de corrente.

De modo a minimizar o efeito das impedâncias de eletrodos, foram utilizados nas coletas dois eletrodos de placa metálica com área de 12 cm<sup>2</sup>. Esses eletrodos foram posicionados a 10 e 30 cm do bordo superior da patela, no membro inferior direito. Após a definição e preparação do local de posicionamento dos eletrodos, aplicou-se gel condutivo comercial (Mercur, Brasil) nos mesmos para estabelecimento da interface com a pele. Em seguida, os eletrodos e os fios próximos a interface foram fixados na coxa com uma bandagem do tipo *Kinesiotaping* (*Kinesiotaping*, EUA). O arranjo de eletrodos utilizado pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1: Arranjo de eletrodos utilizado.

As trocas gasosas foram mensuradas com a utilização de um bocal conectado a pneumotacômetro. Os voluntários realizaram os testes com o nariz bloqueado, tendo seu fluxo respiratório bucal direcionado para um analisador de gases do tipo célula galvânica VO2000 (*Medgraphics*, EUA). Foram analisadas as concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> referentes à inspiração para cada amostra coletada; sendo, então, calculados todos os outros parâmetros provenientes da ergoespirometria. Os dados foram adquiridos a cada 10 segundos de teste e armazenados para processamento posterior.

**Processamento e Análise dos Dados** – A resposta de corrente ao degrau de tensão foi adquirida a uma taxa de 1,25 MHz por uma placa AD (NI USB-6251, *National Instruments*, EUA). Para avaliação da sensibilidade da técnica de medição de impedância segmental em detectar variações metabólicas causadas pelo teste de esforço, utilizou-se como parâmetro primário de avaliação o valor de uma impedância equivalente ( $Z_e$ ), definida como o quociente entre o valor do degrau de tensão aplicado ( $v_d$ ) e o valor pico ( $I_p$ ) da resposta em corrente  $i(t)$ . Essa opção elimina a necessidade de adoção de um modelo elétrico, sendo dependente somente dos valores medidos pelo protótipo do equipamento BIS-STEP ( $v_d$  e  $I_p$ ).

Para a estimativa do LV pela bioimpedância observou-se a cinética dos valores de  $Z_e$  em relação à potência ( $W$ ) associada à carga do esforço físico durante os testes. Tal cinética foi modelada matematicamente procurando-se obter um critério objetivo e automático para a determinação do LV. Numa primeira abordagem, visando uma implementação futura de um modelo de BIS, os valores de  $Z_e$  em função de  $W$  foram utilizados para se ajustar um polinômio de segundo grau e se determinar o valor de mínimo de tal parábola, que foi utilizado como estimativa de LV (Figura 2). Essa estimativa foi denominada limiar ventilatório de impedância equivalente ( $LV_{Z_e}$ ). Os dados foram processados por um *script* escrito em MATLAB (*Mathworks*, USA).

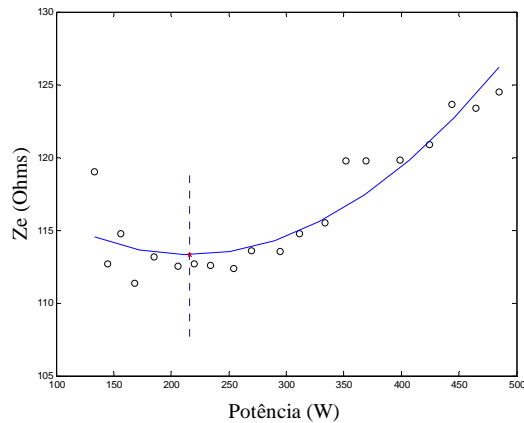


Figura 2: Estimativa de  $LV_{Ze}$  com base no valor de mínimo (linha pontilhada) de um polinômio de segundo grau ajustado aos valores de  $Z_e$  em função da potência.

Assim como nos dados referentes à bioimpedância, aqueles oriundos das trocas gasosas foram processados por outro *script* desenvolvido em MATLAB (Mathworks, USA). Com base no estudo de Santos e Giannella-Neto [6] foram implementados dois métodos para detecção do limiar ventilatório, o método v-slope ( $LV_{v-slope}$ ) e o de análise dos equivalentes ventilatórios ( $LV_{equiv}$ ). Além destes foi registrada também a determinação do limiar ventilatório com base em inspeção visual de um avaliador experiente ( $LV_{vis}$ ). Na figura 3 pode se visualizar a determinação do  $LV_{v-slope}$  e abaixo a identificação da potência correspondente:

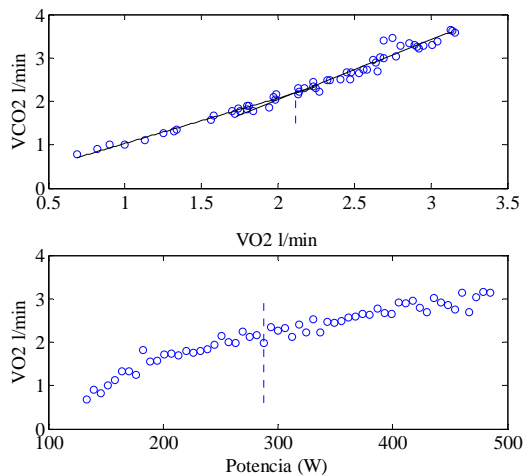


Figura 3: Estimativa automática de  $LV_{v-slope}$  e identificação da potência correspondente em função do  $VO_2$ .

Realizou-se uma análise exploratória descritiva das estimativas do LV referentes aos métodos de ergoespirometria e de bioimpedância a partir das medianas e seus respectivos quartis dos valores de limiares ventilatórios preditos por cada método.

## Resultados

Na Tabela 1 pode-se observar as estimativas das potências desempenhadas em esforço (W) relativas aos limiares ventilatórios obtidas pelos 3 métodos de detecção empregados em ergoespirometria e os valores obtidos por meio da variação de  $Z_e$ . Na mesma tabela po-se observar a diferença entre as estimativas  $LV_{v-slope}$  e  $LV_{Ze}$ .

Em geral as estimativas  $LV_{Ze}$  foram menores dos que as obtidas com base nas trocas gasosas. No entanto, constata-se maior similaridade em relação ao valor de potência obtido nas técnicas ergoespirométricas  $LV_{equiv}$ ,  $LV_{v-slope}$  com  $LV_{Ze}$  em alguns dos voluntários testados. O nível de dispersão com relação às estimativas produzidas  $LV_{v-slope}$  e  $LV_{Ze}$  pode ser visualizada nos *boxplots* na Figura 4.

Tabela 1: Estimativas dos limiares de ventilatórios de impedância elétrica e diferença entre  $LV_{v-slope}$  e  $LV_{Ze}$ . Os valores se referem à carga de esforço (em W) que define o LV.

Volunt.	$LV_{vis}$	$LV_{v-slope}$	$LV_{equiv}$	$LV_{Ze}$	$LV_{v-slope} - LV_{Ze}$
1	378	235	219	142	94
2	221	207	98	257	-50
3	340	257	203	152	104
4	352	145	195	216	-71
5	281	188	157	180	8
6	426	371	295	211	160
7	489	229	162	231	-2
<b>Média</b>	<b>355</b>	<b>233</b>	<b>190</b>	<b>198</b>	<b>35</b>

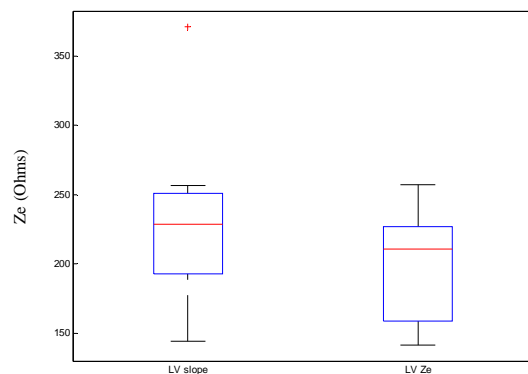


Figura 4: *Box plots* das estimativas  $LV_{v-slope}$  e  $LV_{Ze}$ .

## Discussão

Os resultados obtidos na estimação do LV por meio de bioimpedância foram menores em relação aos métodos ergoespirométricos para grande maioria das comparações realizadas neste trabalho.

O controle das alterações respiratórias durante o exercício progressivo é considerado complexo, diferente da dependência exclusiva, antes considerada, desse mecanismo de controle em relação aos níveis de  $H^+$  no músculo [7]. Atualmente entende-se que a ação de fibras nervosas quimiossensitivas, concentração de  $K^+$

intracelular,  $PO_2$  e pH exercem uma conexão com o centro ventilatório, estabelecendo a regulação da ventilação (VE) durante o exercício [7,8]. Nesse contexto, podemos considerar a regulação das trocas gasosas durante o esforço durante o exercício como uma ação de mecanismo de regulação central norteado por diferentes fatores periféricos.

Sinais do desenvolvimento da fadiga periférica têm sido estudados por técnicas como eletromiografia (EMG) [9,10], mecanomiografia (MMG) [11] e em menor escala por miografia por bioimpedância elétrica (IEM) [4, 12]. A bioimpedância e todas as técnicas acima descritas possuem naturezas distintas e ao serem empregadas com objetivo de avaliar o desenvolvimento da fadiga sobre o ponto de vista periférico, se diferenciam do que se propõem a ergoespirometria. Alguns desses trabalhos objetivam elucidar a relação desse componente periférico com mecanismos fisiológicos mais gerais e sistêmicos, como a respiração e a concentração de metabólitos sanguíneos [4, 9, 10].

Dentro desse escopo, os resultados descritos revelam a presença de marcadores de fadiga periféricos antecipados a ocorrência do LV e outras vezes coincidentes com o mesmo, em acordo com resultados previamente reportados [12, 13]. No entanto, esses trabalhos se utilizaram de testes progressivos de esforço em bicicletas, relacionada a um maior desenvolvimento de fadiga periférica, ou regimes de contração isométrica. Ainda sim, devido a essa dualidade de resultados, considera-se que a detecção precoce das alterações de impedância em relação ao LV encontra-se em acordo com a literatura sobre o assunto. Uma hipótese é que a evasão dos íons  $La^-$  e  $H^+$  em direção ao interstício e sangue, relacionada aos mecanismos de depuração de lactato como, por exemplo, a oxidação do mesmo por fibras musculares de contração lenta e outros tecidos [13], tenha provocado o aumento da impedância observado nos resultados do presente trabalho por efeito da redução da condutividade iônica no meio.

Para melhor investigar a relação acima mencionada é interessante se utilizar ao invés de um parâmetro sintético de bioimpedância, como  $Z_e$ , parâmetros relacionados a um modelo elétrico equivalente na interpretação dos dados obtidos pela técnica BIS-STEP. Isso possibilitaria a avaliação de alterações ocorridas nos meios intra e extracelular, juntamente com aquelas decorrentes de alterações das membranas celulares, permitindo, assim, uma melhor inferência com relação ao acúmulo e evasão de metabólitos no meio interno muscular, interstício e sangue.

## Conclusão

Conclui-se que a cinética dos valores de  $Z_e$  parece estar associada com o desenvolvimento de fadiga durante o teste de esforço em esteira rolante. No entanto, mais estudos devem ser realizados para se obter uma melhor estimativa do LV através de bioimpedância, investigando-se o emprego de modelos equivalentes que

possam melhor elucidar as alterações metabólicas periféricas associadas à ocorrência do LV.

## Referências

- [1] McArdle W, Katch FI, Katch, VL. Fisiologia do Exercício, Energia Nutrição e Desempenho Humano. 6ª ed. Rio de Janeiro; 2008.
- [2] Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American journal of cardiology*. 1964;14(6):844-852.
- [3] Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts. *Sports Medicine*. 2009;39(6):469-490.
- [4] Alvarenga RL. Estimativa não invasiva do limiar de lactato usando espectroscopia por impedância bioelétrica. [Tese]. COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro; 2008.
- [5] Neves, C.E., Souza, M.N. (2000) "A method for bio-electrical impedance analysis based on a step-voltage response". *Physiological Measurement*. 2000;21(3):395-408.
- [6] Santos EL, Giannella-Neto, A. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *European journal of applied physiology*. 2004; 93(3):315-24.
- [7] Hagberg JM, Coyle EF, Carroll JE, Miller JM, Martin WH, Brooke, MH. Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *Journal of Applied Physiology*, 1982; 52(4):991-94.
- [8] Tibes U, Hemmer B, Böning, D. Heart rate and ventilation in relation to venous  $[K^+]$ , osmolality, pH,  $PCO_2$ ,  $PO_2$ , [orthophosphate], and [lactate] at transition from rest to exercise in athletes and non-athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1977; 36(2):127-40
- [9] Lucía A, Sánchez, O, Carvajal A, Chicharro JL, Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *British journal of sports medicine*. 1999; 33(3):178-85.
- [10] Hug F, Laplaud D, Savin B, Grelot L, Occurrence of electromyographic and ventilatory thresholds in professional road cyclists. *European journal of applied physiology*. 2003; 90(5-6):643-646.
- [11] Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, Fukunaga, T. Mechanomyogram from the different heads of the quadriceps muscle during incremental knee extension. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1998; 78(4):289-95.
- [12] Jotta B, Coutinho AB, Pino AV, Souza MN. Miografia por impedância elétrica relacionada à fadiga causada por contrações isométricas sustentadas. *Anais XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*; 2012, p. 1387-90,
- [13] Gladden LB, Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of physiology*. 2004; 558(1):5-30.