

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE**

---

**ALESSANDRO MOURA ZAGATTO**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA PARA AVALIAÇÃO DA  
CAPACIDADE AERÓBIA E ANAERÓBIA EM PROTOCOLO ESPECÍFICO PARA  
O TÊNIS DE MESA**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Motricidade (área de Biodinâmica da Motricidade Humana).

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE**

---

**ALESSANDRO MOURA ZAGATTO**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA PARA AVALIAÇÃO DA  
CAPACIDADE AERÓBIA E ANAERÓBIA EM PROTOCOLO ESPECÍFICO PARA  
O TÊNIS DE MESA**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Motricidade (área de Biodinâmica da Motricidade Humana).

**Orientador: Prof. Dr. CLAUDIO ALEXANDRE GOBATTO**

**Rio Claro  
Maio - 2010**


**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE  
(ÁREA: BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA)**

**Tese de Doutorado defendida em 22/04/2010**

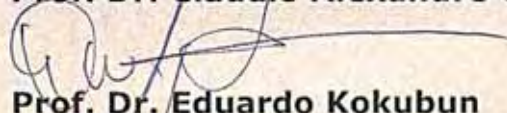
**"Padronização do modelo de potência crítica para a avaliação da  
capacidade aeróbia e anaeróbia em protocolo específico para o  
tênis de mesa"**

**ALESSANDRO MOURA ZAGATTO**

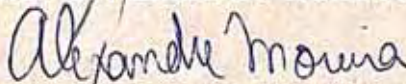
**Comissão Examinadora:**



**Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto**



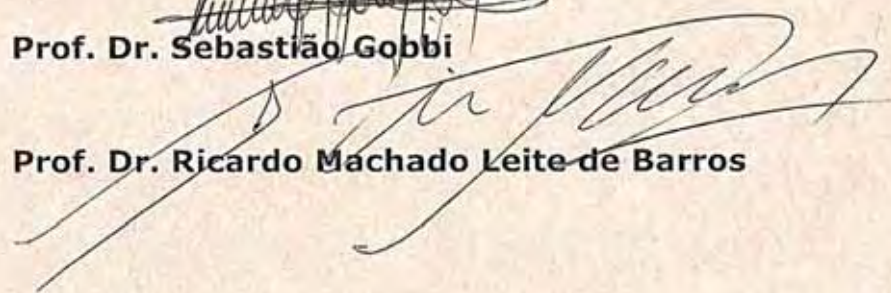
**Prof. Dr. Eduardo Kokubun**



**Prof. Dr. Alexandre Moreira**



**Prof. Dr. Sebastião Gobbi**



**Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros**

**Dedicado:**

Aos meus Pais Carlos e Arlete, que passaram todo o conhecimento e educação para que eu pudesse me tornar a pessoa que sou hoje. Ao meu orientador e amigo Claudio A Gobatto, que acreditou em mim e possibilitou todo esse crescimento. A minha noiva Ana Paula, por toda a parceria, compreensão e fidelidade. A Deus, por me proporcionar a vida, a saúde e a oportunidade de realizar esse sonho de hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos amigos de laboratório, GUSTAVÃO, LUIZ, IVAN, WLADIMIR, PEDRO, MURILO, CLAUDIO MEIRELES, TAISA, MURILO, VANESSA, ADELINO, MANÚ, PRETO, PAPOTI, CLAUDIÃO, FULVIA, BETO, CHINA e outros, pelos agradáveis dias que passei desde 2002 até a presente data dentro dessa segunda família. Valeu mesmo pessoal.

Ao amigo Ricardo Contarteze (*in memorian*), que infelizmente não está mais aqui conosco.

Aos amigos de república DANILO, CRIS, WLADIMIR, MARCELO, PAPOTI, BIBI, IPATINGA, MURILO E WENDEL, por agüentar as minhas bagunças e loucuras, e principalmente, por sofrer comigo pelo Coringão.

Ao PAPOTI, garoto de tantos apelidos, pela sincera amizade, ajuda, parceria e profissionalismo. Valeu mesmo cara. Sem esquecer claro, de sua esposa Fran, parceira em vários momentos.

À minha família, pais, irmãos, avós e tios, pelos constantes conselhos, incentivos e ensinamentos. Obrigado mesmo.

A amizade e ensinamento dos professores LILIAN GOBBI, SEBASTIÃO GOBBI, EDUARDO KOKUBUN, ALEXANDRE MOREIRA, ANGELINA ZANESCO, JOSÉ ROBERTO MOREIRA DE AZEVEDO e MARIA ALICE ROSTON DE MELLO.

Ao grande amigo e orientador CLAUDIO ALEXANDRE GOBATTO por acreditar no meu potencial e ter dedicado alguns anos valiosos de sua vida para a minha formação. Pela sincera amizade e conselhos, que com certeza auxiliaram em muito o meu crescimento profissional e pessoal. Muito obrigado mesmo CLAUDIO. Sempre serei grato e fiel.

Aos amigos de Bauru (PAULO AZEVEDO, FERNANDO, BURHAM, CASTOR, EDSON, GUSTAVO, HELTON, ...) pela sincera amizade.



Ao amigo MARCELO FERREIRA MIRANDA, professor da UCDB em Campo Grande, pela amizade e confiança, e também por possibilitar o empréstimo do analisador de gases para a realização da Tese.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Universidade onde sou docente, que possibilitou minha dedicação exclusiva ao doutorado, assim como meus colegas do Departamento de Educação Física.

Aos amigos de Campo Grande, CLAUDIA, TAMIR, MARCELO, FAUSTO, LEVI, DOMINGOS, PAULO (Narizinho) pela parceria.

Aos técnicos NELSON MACHADO (Marília), EDINILSON MOURA (Marília), CRIS JACON (Limeira), ALEXANDRE BIGELLI (Limeira), FRANCISCO BRITTO (CHICO) (Rio Claro) e MÁRIO MÁRCIO (Campo Grande), pela confiança e possibilidade de aplicação dos procedimentos de estudos em seus atletas.

Agradeço também imensamente aos atletas que realizaram inúmeras sessões de exercício, muitas delas tendo que serem repetidas, sempre realizando com motivação e afinco. Sem os seus comprometimentos, nada disso poderia ser realizado.

A minha amada noiva ANA PAULA BARROTE, pela compreensão, tolerância, amizade e companheirismo em todos esses 3 anos. Sei que não é fácil me tolerar e você é vencedora. Te amo muito linda.

Não poderia esquecer também da família BARROTE, BETE, ZÉ e companhia, até os cachorros e cachorras, que me acolheram como se fosse um filho em sua casa.

Valeu também BAURUZETE, valeu mesmo cara.

A CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro.

ESTE TRABALHO FOI REALIZADO COM APOIO DA FUNDAÇÃO DE APOIO  
AO ENSINO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE MATO GROSSO DO  
SUL

# FUNDECT

Processo 23/200.223/2007

## RESUMO

O presente estudo objetivou utilizar o modelo de potência crítica adaptado para o tênis de mesa como um possível procedimento para estimar a capacidade aeróbia e capacidade anaeróbia em teste específico. Foram participantes do estudo 32 mesatenistas do sexo masculino filiados à Confederação Brasileira de Tênis de Mesa e integrantes de cinco equipes de tênis de mesa. Para a execução da tese, o atual trabalho foi dividido em quatro experimentos, possuindo seqüencialmente os devidos propósitos: 1) verificar o perfil fisiológico e as características do jogo de tênis de mesa mensurados em competições oficiais; 2) comparar as respostas fisiológicas, máximas e submáximas, mensuradas em ergômetro específico para o tênis de mesa com as obtidas em ergômetros convencionais; 3) Investigar a aplicação do modelo de potência crítica adaptado para o tênis de mesa como procedimento preditor da capacidade aeróbia, verificando a influência do critério de exaustão e dos modelos matemáticos na determinação desse parâmetro, assim como comparar esses resultados com parâmetros respiratórios máximos e submáximos obtidos em teste incremental específico; 4) Correlacionar o parâmetro da curvatura constante ( $W'$ ) da relação hiperbólica entre tempo e potência, sendo a  $W'$  estimada por meio de quatro modelos matemáticos; assim como correlacionar as  $W'$  estimadas com o déficit máximo de oxigênio acumulado e com o trabalho anaeróbio total mensurado em exercícios supramáximos. Como resultados, no experimento 1 foi verificado que o tênis de mesa demandou uma predominância energética aeróbia durante o jogo, porém, com a o metabolismo anaeróbio alático sendo o principal sistema energético nos momentos de esforços. Essas afirmações foram baseadas nos resultados da duração do jogo, duração do rali e baixas respostas lactacidêmicas e da frequência cardíaca obtidas. Após essa caracterização fisiológica do tênis de mesa realizada, no experimento 2 foi então comparado as respostas fisiológicas obtidas em teste incremental específico para o tênis de mesa com as respostas fisiológicas obtidas em ergômetros convencionais (cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira). Diferenças significativas foram verificadas entre as respostas fisiológicas mensuradas entre os diversos ergômetros, tanto em intensidade máxima quanto em intensidades submáximas, evidenciando a necessidade da aplicação de teste específico na avaliação do componente aeróbio. Desse modo, nós utilizamos do modelo de potência crítica adaptado para o tênis, que além de ser um procedimento de fácil aplicação e não invasivo, teoricamente, possibilita a estimação da capacidade aeróbia e da capacidade anaeróbia em um mesmo teste (experimentos 3 e 4, respectivamente). Porém, apenas a capacidade aeróbia determinada por meio do modelo de potência crítica pareceu ser um bom procedimento de avaliação para esse esporte, sendo encontradas correlações significativas entre as intensidades



de frequência crítica com o limiar anaeróbio de troca gasosa e com a intensidade correspondente ao consumo pico de oxigênio. No entanto, a  $W'$ , que é considerada por alguns autores como um índice de capacidade anaeróbia, não apresentou correlação significativa com o déficit máximo de oxigênio acumulado e nem com o trabalho anaeróbio total mensurado nas intensidades supra-máximas, não sendo possível seu uso para estimar a capacidade anaeróbia no tênis de mesa.

**PALAVRAS – CHAVE:** Tênis de mesa; teste específico; capacidade aeróbia; capacidade anaeróbia.

## ABSTRACT

The general aim of this thesis was to apply the critical power model for the table tennis specific test as a procedure to estimate aerobic and anaerobic capacities. The study included thirty-two male table tennis players from five teams affiliated to the Brazilian Table Tennis Federation (CBTM). The thesis was divided into four experiments to: 1) Verify the physiological profile and characteristics of table tennis measured in official tournaments; 2) Compare maximal and submaximal physiological responses measured in the table tennis specific test with those measured on a cycloergometer, arm crank, and treadmill (conventional ergometers); 3) Investigate applying the Critical Power model to table tennis as an aerobic capacity predictor, verify the effects of exhaustion criteria (voluntary and technical exhaustion) and mathematical modeling of this parameter, and also to compare results from maximal and submaximal respiratory parameters measured during the specific incremental test; and 4) Correlate the curvature constant parameter ( $W'$ ) from the Power and time hyperbolic relationship, where  $W'$  was estimated using four mathematical models; and to correlate each  $W'$  estimated with maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) and total anaerobic work at supramaximal intensities. Results showed that table tennis presented higher aerobic system predominance during a match, where the phosphagenic energy source was the main mechanism resynthesizing energy during effort periods. This was based on match duration, rally time, low blood lactate response, and sub-threshold heart rate response. Thus, knowing the table tennis physiological profile, experiments 2 and 3 investigated the application of aerobic and anaerobic procedures using specific and conventional ergometers. Experiment 2 revealed different maximal and submaximal physiological responses when comparing the specific test with results from conventional ergometers, showing a strong need for the specific test to assess the aerobic component. The Critical Power model adapted for table tennis was used because it is easy to apply and non-invasive, and in theory allows both aerobic and anaerobic capacity to be estimated in a single test (experiments 3 and 4, respectively). However, only aerobic capacity proved a good parameter for table tennis in the critical Power model, significantly correlating with anaerobic gas exchange threshold and with intensity associated to peak maximal oxygen. Interestingly  $W'$ , which is considered by some authors an anaerobic capacity index, did not significantly correlate with MAOD or total anaerobic work and therefore was not a good procedure for estimating anaerobic capacity in the table tennis specific test.

**KEYWORDS:** Table tennis; specific test; aerobic capacity; anaerobic capacity.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1.</b> Esquema representativo do teste específico para o tênis de mesa, aplicado com a utilização do roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) .....                                                                                    | 36 |
| <b>Figura 1.2.</b> Regressão linear para obtenção da intensidade e demanda de oxigênio correspondente 120% da $\dot{V}O_{2PICO}$ e também a demanda teórica de consumo de oxigênio e o consumo real de oxigênio em intensidade supramáxima ..... | 40 |
| <b>Figura 1.3.</b> Ciclo ergômetro Monark 894E (Monark, Suécia) adaptado para membro superior, para a aplicação do teste incremental máximo em ergômetro de braço .....                                                                          | 42 |

## ARTIGO 1

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1.</b> Análise da confiabilidade da determinação da duração do rali (1A) e duração da pausa duração (1B) verificada pela análise gráfica <i>Bland-Altman</i> ( $n = 60$ ). A análise foi realizada entre as durações dos ralis e pausas determinadas em teste (DR1 e DP2, respectivamente) e re-teste (DR2 e DP2, respectivamente) ..... | 53 |
| <b>Figura 2.2.</b> Frequências de ocorrências da duração dos ralis obtidos em todos os jogos de tênis de mesa analisados .....                                                                                                                                                                                                                       | 55 |
| <b>Figura 2.3.</b> Frequências de ocorrências da duração das pausas obtidas em todos os jogos de tênis de mesa analisados .....                                                                                                                                                                                                                      | 56 |
| <b>Figura 2.4.</b> Frequências de ocorrências da duração do rali obtida nos grupos de performance regional (PR) e performance nacional (PN) .....                                                                                                                                                                                                    | 57 |
| <b>Figura 2.5.</b> Frequências de ocorrências da duração das pausas obtidas nos grupos de performance regional (PR) e performance nacional (PN) .....                                                                                                                                                                                                | 57 |
| <b>Figura 2.6.</b> Comportamento da frequência cardíaca (FC) mensurada durante um jogo oficial de tênis de mesa com duração de cinco sets. Esses resultados são correspondente ao participante 4 do grupo de performance regional .....                                                                                                              | 58 |

## ARTIGO 2

**Figura 3.1.** Esquema representativo dos ajustes efetuados no roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) para a aplicação do teste específico com uma representação dos locais de lançamento de bolas .....70

**Figura 3.2.** Aplicação do teste incremental específico no tênis de mesa com o uso do roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) como ergômetro e do radar Stalker Professional Sport (Stalker, TX, EUA). O ponto 1 corresponde à mensuração da análise de gases, o ponto 2 mostra o lançador de bolas mecânico e o ponto 3 mostra o radar Stalker Professional Sport (Stalker, TX, EUA) .....71

**Figura 3.3.** Parâmetros fisiológicos obtidos na exaustão nos testes incrementais aplicado em teste específico para o tênis de mesa, em cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira. A figura A corresponde ao consumo de oxigênio pico ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ); a B ao quociente respiratório pico; a C a ventilação pulmonar pico ( $\dot{V}_{EPICO}$ ); a D a frequência cardíaca pico ( $FC_{PICO}$ ); a E a FC relativa à máxima predita para a idade; e a F ao lactato sanguíneo pico ( $[La]_{PICO}$ ).

**\*\* $P < 0,05$**  .....74

**Figura 3.4.** Comportamento do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) obtido nos testes incrementais no ergômetro específico (A), ergômetro de braço (B), cicloergômetro (C) e esteira rolante (D). Resultados correspondentes ao participante 1 .....75

## ARTIGO 3

**Figura 4.1.** Comportamento do consumo de oxigênio mensurado em cada sessão de exercício aplicada no teste de frequência crítica. Esses resultados são correspondentes ao sujeito 2 .....97

## ARTIGO 4

**Figura 5.1.** Esquema representativo dos ajustes efetuados no roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) para a aplicação do teste específico .....113

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

**Tabela 1.1.** Respostas fisiológicas e características do jogo de tênis de mesa obtidas em jogos oficiais de tênis de mesa. Esses resultados são correspondentes a todos os jogos analisados.\*

.....54

**Tabela 1.2.** Características do jogo de tênis de mesa correspondentes aos atletas de performance regional e atletas de performance nacional mensuradas em competições oficiais. Os resultados são apresentados em média $\pm$ DP, amplitude. O poder estatístico do teste (1- $\beta$ ) também é apresentado .....

56

### ARTIGO 2

**Tabela 2.1.** Intensidades correspondentes a transição aeróbia-anaeróbia estimadas pelo método de limiar anaeróbio de troca gasosa (LAn<sub>GE</sub>) e limiar anaeróbio lactacidêmico (LAn<sub>[La]</sub>) para os testes aplicados em ergômetros convencionais e em teste específico para o tênis de mesa .....

76

**Tabela 2.2.** Resultados dos parâmetros fisiológicos e da escala de percepção de esforço correspondentes ao LAn<sub>GE</sub> e LAn<sub>[La]</sub> obtidos no ergômetro específico, cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira .....

77

**Tabela 2.3.** Coeficientes de correlação de *Pearson* obtidos entre cada parâmetro fisiológico correspondente as intensidades de LAn<sub>GE</sub> e LAn<sub>[La]</sub> em cada ergômetro .....

78

### ARTIGO 3

**Tabela 3.1.** Tempo até a exaustão (*t*<sub>lim</sub>) obtidos pelos critérios de exaustão técnica e exaustão voluntária em cada sessão de exercício no teste de *f*<sub>C</sub> .....

96

**Tabela 3.2.** Resultados das *f*<sub>C</sub> estimadas por meio dos cinco modelos matemáticos de potência crítica. Também são apresentados as intensidades de *f*<sub>C</sub> relativa à  $\dot{V}O_{2PICO}$ , coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão do ajuste na estimativa da *f*<sub>C</sub> (SE) .....

98

**Tabela 3.3.** Coeficientes de correlação de *Pearson* obtidos entre as *f*<sub>C</sub> estimadas pelos diferentes modelos matemáticos utilizando os critérios de exaustão voluntária e técnica. Os

coeficientes de correlação são apresentado correspondendo a exaustão voluntária(exaustão técnica) .....99

## ARTIGO 4

**Tabela 4.1.** Resultados do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), intensidade associada ao  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $f\dot{V}O_{2PICO}$ ), tempo até a exaustão na intensidade correspondente a 120% do  $f\dot{V}O_{2PICO}$  ( $t_{lim}$ ) e MAOD expresso em unidade absoluta e relativa a massa corporal. Os resultados são apresentados em média±erro padrão da média(EPM) e amplitude .....117

**Tabela 4.2.** Resultados do tempo de exercício até a exaustão ( $t_{lim}$ ), lactato sanguíneo ([La]) e o trabalho mensurado em cada sistema energético obtidos em cada sessão de exercício realizada no teste de frequência crítica para estimar a  $W'$  .....118

**Tabela 4.3.** Resultados das  $W'$  estimadas pelos quatro modelos matemáticos e as respectivas amplitudes, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erros padrão da determinação da  $W'$  (SE). Os resultados são expressos em média±EPM .....118

**Tabela 4.4.** Coeficientes de correlação produto momento de *Pearson* entre todas as  $W'$  estimadas com o MAOD e o  $t_{lim}$  na intensidade de 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$  .....119

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                         |                                                                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [La]                    | Concentração sanguínea de lactato                                                                     |
| $\dot{V}O_{2MAX}$       | Consumo máximo de oxigênio                                                                            |
| $\dot{V}O_{2PICO}$      | Consumo pico de oxigênio                                                                              |
| $I\dot{V}O_{2PICO}$     | Intensidade correspondente ao consumo pico de oxigênio                                                |
| $f\dot{V}O_{2PICO}$     | Intensidade (frequência) de consumo pico de oxigênio no teste específico (apenas experimentos 3 e 4). |
| MFEL                    | Máxima fase estável de lactato                                                                        |
| IAT                     | Limiar anaeróbio individual                                                                           |
| LACmin                  | Lactato mínimo                                                                                        |
| PCR                     | Ponto de compensação respiratória                                                                     |
| OBLA                    | Ponto de início de acúmulo de lactato no sangue                                                       |
| PC                      | Potência crítica                                                                                      |
| LAn                     | Limiar anaeróbio                                                                                      |
| $\dot{V}_E$             | Ventilação                                                                                            |
| $\dot{V}CO_2$           | Produção de dióxido de carbono                                                                        |
| $\dot{V}O_2$            | Consumo de oxigênio                                                                                   |
| $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  | Equivalente respiratório entre ventilação pelo consumo de oxigênio                                    |
| $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ | Equivalente respiratório entre ventilação pela produção de dióxido de carbono                         |
| $t_{lim}$               | Tempo de exercício até a exaustão                                                                     |
| CTA                     | Capacidade de trabalho anaeróbio                                                                      |
| P                       | Potência                                                                                              |
| T                       | Trabalho                                                                                              |
| $W'$                    | Parâmetro da curvatura constante correspondente a relação hiperbólica entre tempo e intensidade       |
| Pmax                    | Potência máxima                                                                                       |
| tau                     | Constante de tempo                                                                                    |
| $f_C$                   | Frequência crítica                                                                                    |
| MAOD                    | Máximo déficit acumulado de oxigênio                                                                  |



|                     |                                                                                                                  |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ATP-CP              | Sistema de fosfagênio de ressíntese de energia                                                                   |
| PN                  | Grupo de mesatenistas com performance nacional                                                                   |
| PR                  | Grupo de mesatenistas com performance regional                                                                   |
| FC                  | Frequência cardíaca                                                                                              |
| DR                  | Duração do rali                                                                                                  |
| E:P                 | Razão entre tempo de esforço e pausa                                                                             |
| TPT                 | Tempo total de jogo                                                                                              |
| RPT                 | Tempo real de jogo                                                                                               |
| EPT                 | Tempo efetivo de jogo                                                                                            |
| $f$                 | Frequência                                                                                                       |
| Lin- $f$            | Modelo de frequência crítica determinado por meio do ajuste linear entre frequência pelo $t_{lim}^{-1}$          |
| Lin-TB              | Modelo de frequência crítica determinado por meio da relação linear entre números de bolas pelo $t_{lim}$        |
| NLinear-2           | Modelo de frequência crítica determinado por meio do ajuste hiperbólico da relação entre $t_{lim}$ e frequência  |
| NLinear-3           | Modelo não linear de frequência crítica de 3 parâmetros determinado pela relação entre $t_{lim}$ pelo frequência |
| EXP                 | Modelo frequência crítica determinada por meio do ajuste exponencial da relação entre frequência pelo $t_{lim}$  |
| CV                  | Coeficiente de variação                                                                                          |
| ICC                 | Correlação intraclasse                                                                                           |
| ITTF                | <i>International Table Tennis Federation</i>                                                                     |
| AnT <sub>GE</sub>   | Limiar anaeróbio de trocas gasosas                                                                               |
| AnT <sub>[La]</sub> | Limiar anaeróbio determinado pelo aumento abrupto da lactacidemia                                                |
| $t$                 | Tempo                                                                                                            |
| $P_E$               | Potência de esforço no modelo intermitente de potência crítica                                                   |
| $P_R$               | Potência de recuperação no modelo intermitente de potência crítica                                               |
| $t_E$               | Tempo de esforço no modelo intermitente de potência crítica                                                      |
| $t_R$               | Tempo de recuperação no modelo intermitente de potência crítica                                                  |

|                    |                                                                                                          |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_{\text{TOTAL}}$ | Tempo total de exercício realizado no modelo intermitente de potência crítica                            |
| $n$                | Número de ciclos completos (esforço + recuperação) realizados no modelo de potência crítica intermitente |
| $\mu\text{L}$      | Microlitros                                                                                              |
| TB                 | Total de bolas rebatidas durante o teste específico                                                      |
| $f_{\text{MAX}}$   | Intensidade (frequência) máxima de exercício onde o tempo limite é igual a zero                          |
| EPOC               | Consumo excessivo de oxigênio após exercício                                                             |
| $W_{\text{AER}}$   | Trabalho total aeróbio                                                                                   |
| $W_{[\text{La}]}$  | Trabalho total anaeróbio glicolítico                                                                     |
| $W_{\text{PCR}}$   | Trabalho total anaeróbio alático                                                                         |
| $W_{\text{ANAER}}$ | Trabalho total anaeróbio                                                                                 |
| A                  | Amplitude do ajuste monoexponencial do componente rápido do $\dot{V}\text{O}_2$ no EPOC                  |
| EPM                | Erro padrão da média                                                                                     |
| SE                 | Erro padrão da estimativa do parâmetro                                                                   |
| $R^2$              | Coefficiente de determinação                                                                             |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                 | Páginas |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                             | 20      |
| 2. OBJETIVO .....                                                                                                                                                                               | 31      |
| 2.1. Objetivo geral .....                                                                                                                                                                       | 31      |
| 2.2. Objetivos específicos .....                                                                                                                                                                | 31      |
| 3. METODOLOGIA .....                                                                                                                                                                            | 33      |
| 3.1. Delineamento experimental .....                                                                                                                                                            | 33      |
| 3.1.1. EXPERIMENTO 1: Resposta fisiológica e características do jogo de tênis de mesa mensuradas em competições oficiais .....                                                                  | 33      |
| 3.1.2. EXPERIMENTO 2: Respostas fisiológicas máximas e submáximas em mesatenistas: comparação entre teste específico e testes em ergômetros convencionais .....                                 | 33      |
| 3.1.3. EXPERIMENTO 3: Conceito de potência crítica adaptado para o tênis de mesa: comparações entre critérios de exaustão, modelos matemáticos e correlações com parâmetros respiratórios ..... | 33      |
| 3.1.4. EXPERIMENTO 4: Capacidade anaeróbia estimada utilizando quatro modelos matemáticos de potência crítica em teste específico para o tênis de mesa ..                                       | 33      |
| 3.2. Participantes .....                                                                                                                                                                        | 33      |
| 3.3. Procedimentos .....                                                                                                                                                                        | 34      |
| 3.3.1. Determinação da reposta fisiológica em jogos oficiais de tênis de mesa .....                                                                                                             | 34      |
| 3.3.2. Determinação das características do jogo de tênis de mesa .....                                                                                                                          | 34      |
| 3.3.3. Testes específico para o tênis de mesa .....                                                                                                                                             | 35      |
| 3.3.3.1. Teste incremental específico para determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) .....                                                                                | 37      |
| 3.3.3.2. Teste de frequência crítica para determinação das intensidades de $f_C$ e $W$ utilizando diversos modelos matemáticos .....                                                            | 38      |
| 3.3.3.3. Máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) aplicado em teste específico .....                                                                                                         | 39      |
| 3.3.4. Determinação da performance no tênis de mesa por meio de competição simulada .....                                                                                                       | 40      |
| 3.3.5. Testes em ergômetros convencionais .....                                                                                                                                                 | 41      |

|          |                                                                                                                                                         |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.5.1. | Teste incremental no cicloergômetro .....                                                                                                               | 41  |
| 3.3.5.2. | Teste incremental no ergômetro de braço .....                                                                                                           | 41  |
| 3.3.5.3. | Teste incremental em esteira rolante .....                                                                                                              | 42  |
| 3.4.     | Análise estatística .....                                                                                                                               | 43  |
| 3.4.1.   | Análise estatística do experimento 1 .....                                                                                                              | 43  |
| 3.4.2.   | Análise estatística do experimento 2 .....                                                                                                              | 44  |
| 3.4.3.   | Análise estatística do experimento 3 .....                                                                                                              | 44  |
| 3.4.4.   | Análise estatística do experimento 4 .....                                                                                                              | 45  |
| 4.       | RESULTADOS .....                                                                                                                                        | 46  |
| 4.1.     | Experimento 1 .....                                                                                                                                     | 47  |
| 4.2.     | Experimento 2 .....                                                                                                                                     | 64  |
| 4.3.     | Experimento 3 .....                                                                                                                                     | 88  |
| 4.2.     | Experimento 4 .....                                                                                                                                     | 107 |
| 5.       | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                                                                              | 126 |
| 6.       | CONCLUSÃO .....                                                                                                                                         | 129 |
| 7.       | REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                       | 131 |
| 8.       | ANEXO .....                                                                                                                                             | 146 |
| 8.1.     | ANEXO 1. Carta de aprovação dos procedimentos experimentais pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP Campus de Rio Claro.. | 146 |

## 1. INTRODUÇÃO

Os esportes com raquetes são representados, principalmente, pelo tênis, tênis de mesa, badminton, squash e outros menos conhecidos. Os exercícios nesses esportes envolvem esforços intermitentes, de curta duração, intercalados por um maior período de pausa (MOREL; ZAGATTO, 2008; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008a). Os esforços nesses esportes correspondem, em geral, a movimentos realizados com alta potência e velocidade de membros inferior e superior (ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b), associados a movimentos de habilidade fina, principalmente, de antebraço e mão para a execução de uma rebatida (golpe) precisa e eficiente.

Bioenergeticamente, em geral, os esportes com raquetes possuem uma predominância do sistema anaeróbio alático como a principal fonte de ressíntese de energia durante os momentos de esforços, sendo auxiliado pelo sistema aeróbio nos momentos de pausa entre cada rali. Contudo, o sistema anaeróbio láctico, que é responsável pela produção de lactato como produto final da cadeia metabólica, possui apenas uma maior participação em momentos excepcionais do jogo, em ralis que apresentam uma duração prolongada (FACCINI et al., 1989; SMEKAL et al., 2001, ZAGATTO, 2004). As baixas respostas lactacidêmicas verificadas durante os jogos nesses esportes (média de  $2,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ , mas podendo alcançar valores próximos a  $5 \text{ mmol.L}^{-1}$  no badminton e squash) (FACCINI et al., 1989; FERNANDEZ-FERNANDEZ et al., 2007; KUNSTLINGER et al., 1988; MENDEZ-VILLANUEVA et al., 2007; MARINQUE; GONZÁLES-BADILLO, 2003; MONTPETIT, 1990; SMEKAL et al., 2001, 2003;); a curta duração dos ralis (variam de 3,8 s no tênis de mesa a 6,4 s no tênis) (MARINQUE; GONZÁLES-BADILLO, 2003; SMEKAL et al., 2001; TAKEUCHI et al., 2001) e a prolongada duração do jogo (10 minutos no tênis de mesa a horas no tênis) (LEES, 2003; MCCARTHY-DAVEY, 2000) são alguns dos fatores que corroboram com essas afirmações.

No entanto, essas respostas fisiológicas foram mensuradas apenas em alguns esportes, como o tênis, tênis de mesa, squash e badminton e, a partir dos resultados neles encontrados, elas são estendidas aos demais esportes com raquetes, através da análise, principalmente, da duração do ponto no jogo, denominado rali, e também pela duração total do jogo. Contudo, as respostas de algumas variáveis fisiológicas e as características do esporte podem sofrer pequenas alterações em relação ao esporte com raquete mensurado, tamanho da área de jogo, estilo de jogo do atleta, tamanho da bola (TAKEUCHI et al., 2001) e outros.

O conhecimento do perfil fisiológico e também das características de um esporte, como a duração do jogo, duração dos esforços, razão esforço e pausa e outras, possibilitam um melhor planejamento do treinamento físico e prescrição do exercício, respeitando a especificidade do esporte, além de ser importante na seleção do procedimento de avaliação da aptidão física, respeitando os parâmetros fisiológicos do esporte.

Classicamente, a aptidão aeróbia é o principal sistema energético mensurado nas avaliações físicas, pois, além de possibilitar a verificação do estado fisiológico desse componente bioenergético no avaliado (BENEKE; Von DUVILLARD, 1996; BENEKE, 1995, 2003; HECK et al., 1985; KINDERMANN; SIMON; KEUL, 1979; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b), pode também ser utilizada para a prescrição da intensidade de treinamento (BILLAT, 1996, PYNE et al., 2001). A aptidão aeróbia pode ser mensurada pela determinação da potência aeróbia, que corresponde ao consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2MAX}$ ), ou pela determinação da capacidade aeróbia, que corresponde à transição metabólica aeróbia-anaeróbia (KINDERMAN; SIMON; KEUL, 1979) e possui o teste de máxima fase estável de lactato (MFEL) como procedimento padrão ouro. Porém, a aplicabilidade desses procedimentos de avaliação tem sido muito investigada, principalmente em relação à validade e confiabilidade do teste, tempo de aplicação, variável mensurada e recursos financeiros necessários para a sua aplicação.

O  $\dot{V}O_{2MAX}$ , que corresponde ao consumo máximo de oxigênio que o organismo consegue captar, transportar e utilizar por uma unidade de tempo respirando ao nível do mar (WASSERMAN et al. 1973), corresponde ao parâmetro clássico de mensuração do componente aeróbio e é altamente associado ao desempenho esportivo (BUTTS; HENRY; McLEAN, 1991; EVANS et al., 1995; HAGAN; SMITH; GETTMAN, 1981), principalmente

em esportes com esforços cíclicos (BUTTS; HENRY; McLEAN, 1991; EVANS et al., 1995; HAGAN; SMITH; GETTMAN, 1981).

Mas, apesar do  $\dot{V}O_{2MAX}$  mensurar diretamente o máximo oxigênio utilizado durante o exercício, esse procedimento é dependente da resposta cardiorrespiratória e, desse modo, parece apresentar uma limitação orgânica central (BASSET Jr; HOWLEY, 2000; SALTIN; STRANGE, 1991), principalmente cardiovascular (MARKOV et al., 2001). Essa limitação central pode ser observada em atletas altamente treinados, que após o treinamento, podem melhorar a performance esportiva, sem necessariamente aumentar o  $\dot{V}O_{2MAX}$  (KOHRT; NOAKES, 2008; O'CONNOR; SKINNER, 1989).

Como as adaptações fisiológicas nestes atletas são, principalmente, periféricas (musculares), o  $\dot{V}O_{2MAX}$  parece ser um procedimento pouco sensível para detectar as adaptações decorrentes do treinamento. Por isso, a mensuração da capacidade aeróbia tem sido muito mais utilizada do que a potência aeróbia no âmbito esportivo, pois determina a aptidão aeróbia através da mensuração, direta ou indireta, de respostas fisiológicas ocorridas no tecido muscular, sendo mais sensível para avaliar as alterações na aptidão física ocorridas com o treinamento (PYNE et al., 2001).

A determinação da capacidade aeróbia consiste em identificar a intensidade de transição aeróbia-anaeróbia e isso corresponde à identificação da máxima intensidade de exercício em que ocorre um equilíbrio dinâmico na resposta lactacidêmica (BENEKE 1995, 2003), ou, como descrito no conceito do ponto de compensação respiratória (PCR), a mais alta intensidade de esforço onde ainda é possível verificar um estado estável nas respostas fisiológicas (WASSERMAN et al., 1973).

Dentre os procedimentos que mensuram a capacidade aeróbia, os testes de máxima fase estável de lactato (MFEL), limiar anaeróbio individual (IAT), limiar anaeróbio determinado através de contrações fixas de lactato (3,5 e 4,0 mmol.L<sup>-1</sup>) (OBLA) e lactato mínimo (LACmin) são os procedimentos invasivos mais aplicados; enquanto que o teste de potência crítica (PC) e o PCR, também chamado de segundo limiar ventilatório, ou limiar anaeróbio de troca gasosa, são os procedimentos não-invasivos mais utilizados nos últimos anos. Contudo, cada procedimento de avaliação apresenta sua peculiaridade e característica.



Como mencionado anteriormente, o teste de MFEL é considerado o padrão ouro para a determinação da capacidade aeróbia, pois identifica a máxima intensidade de exercício em que ocorre um equilíbrio dinâmico entre a produção e remoção de lactato sanguíneo ([La]). Entretanto, para a determinação da MFEL são necessárias várias sessões de exercício de duração prolongada (aproximadamente 30 minutos) e também coletas de amostras sanguíneas para mensuração da resposta lactacidêmica durante os exercícios. Esse alto número de sessões de esforços, além de resultar em um teste muito dispendioso em tempo, é, também, um procedimento invasivo. Com isso, sua aplicação na rotina de treinamento torna-se mais difícil.

Assim, outros procedimentos menos dispendiosos em relação ao tempo de aplicação do teste foram investigados, procurando manter a validade e confiabilidade na mensuração da capacidade aeróbia.

O limiar anaeróbio (LAn), a intensidade de início do acúmulo de lactato no sangue, chamada de OBLA (FOXDAL et al., 1995; PEREIRA et al., 2002; SJODIN; JACOBS, 1981), o IAT (STEGMANN et al., 1981) e o lactato mínimo (LACmin) (de ARAUJO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2009; TEGTBUR et al., 1993; VOLTARELLI et al., 2002) são alguns dos procedimentos alternativos, porém invasivos, que estimam a intensidade de MFEL, mensurando, também, a resposta lactacidêmica durante o exercício. Esses procedimentos estimam a intensidade de MFEL por meio de apenas uma sessão de exercício com carga progressiva (incremental), ao invés de um exercício de intensidade constante como é aplicado no teste de MFEL. O propósito de todos esses procedimentos é verificar a intensidade em que o equilíbrio dinâmico entre a produção e remoção do lactato é perdido, resultando em um maior acúmulo da [La]. Essa perda da estabilidade é observada pelo aumento abrupto da lactacidemia no teste incremental, como no teste de LAn, OBLA e IAT, ou pela menor resposta lactacidêmica verificada em exercício incremental, iniciado após um estímulo anaeróbio, aplicado para estimular um estado hiperlactacidêmico (LACmin).

No OBLA, esse ponto de aumento abrupto na [La] é estimado através de um valor fixo de lactato, que é correspondente às concentrações de  $3,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  ou  $4,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ , valor dependente do tempo do estágio de esforço. Esses valores fixos utilizados para determinação do OBLA durante o teste incremental correspondem ao valor médio de lactato na intensidade de MFEL (HECK et al., 1985). Porém, apesar da grande facilidade na determinação e aplicação do OBLA, a generalização de um valor lactacidêmico fixo é uma limitação desse

procedimento, pois a [La] em que ocorre o aumento abrupto desse metabólito, nem sempre é correspondente a esses valores, pois se trata de um valor médio.

Beneke e Von Duvillard (1996) relataram que a [La] na intensidade de MFEL é dependente do ergômetro utilizado e da massa muscular envolvida no exercício, variando de  $3,1 \pm 0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  no remo a  $6,6 \pm 0,9 \text{ mmol.L}^{-1}$  na patinação. Contudo, os testes de LAn, IAT e LACmin estimam a intensidade de MFEL de modo individual e não por valores lactacidêmicos fixos, apresentando maiores vantagens em relação ao OBLA para tal propósito.

Apesar das grandes vantagens científicas na determinação da capacidade aeróbia, utilizando procedimentos como a MFEL, limiar anaeróbio e lactato mínimo, que utilizam uma variável fisiológica (lactacidemia) no método de análise, nem sempre os clubes e equipes que necessitam desses testes para a prescrição da intensidade de exercício têm acesso aos equipamentos que mensuram a [La]. Outra desvantagem desses procedimentos é o custo elevado da mensuração do lactato e também da necessidade da perfuração do corpo do avaliado para efetuar coletas de material sanguíneo, dificultando, algumas vezes, a sua aplicação.

Assim, a elaboração de procedimentos que estimam a capacidade aeróbia com reduzido custo, fácil aplicação e em procedimento não-invasivo parece ser interessante.

O PCR é o método mais utilizado para determinação da capacidade aeróbia sem a mensuração da concentração de lactato. Esse procedimento estima a capacidade aeróbia através da modificação de algumas respostas respiratórias, principalmente o aumento dos equivalentes respiratórios da ventilação pelo consumo de oxigênio ( $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ ) e da ventilação pelo aumento do dióxido de carbono ( $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$ ) (GIRARD et al. 2005, 2006). Entretanto, apesar de ser um procedimento não invasivo e mensurar variáveis fisiológicas, para a determinação do PCR é necessária a utilização de um analisador metabólico de gases, que possui um alto custo, de modo geral, mais elevado que o analisador de lactato.

O modelo de potência crítica (PC) é considerado um procedimento alternativo para estimar a intensidade de MFEL por meio de um teste de baixo custo, não invasivo e de fácil aplicação. A intensidade de PC é determinada apenas por meio da relação hiperbólica entre a potência (P) e o tempo de exercício realizado até a exaustão ( $t_{lim}$ ) em algumas séries de

exercício (equação 1), sendo a PC correspondente a maior intensidade de exercício em que teoricamente não ocorre exaustão (MONOD; SCHERRER, 1965). Além desse parâmetro aeróbico denominado potência crítica, a curvatura constante da relação hiperbólica entre a potência e o tempo ( $W'$ ) tem sido considerada como um parâmetro que representa a capacidade de trabalho anaeróbico (CTA) (MONOD; SCHERRER, 1965). Conceitualmente, a CTA é definida como uma reserva energética finita composta, principalmente, por estoques de glicogênio muscular, oxigênio ligado a mioglobina e fosfagênios (BISHOP et al., 1998; MONOD; SCHERRER, 1965), que possibilita a realização de esforço em intensidade superior a PC.

Para uma maior aplicabilidade do modelo de PC, essa relação hiperbólica da intensidade pelo  $t_{lim}$  (equação 1) foi matematicamente convertida em dois modelos lineares. Um modelo determina a PC por meio da relação linear entre o trabalho gerado (T) versus  $t_{lim}$  (equação 2); e outro modelo determina a PC por meio da relação linear entre a P versus o inverso do  $t_{lim}$  (equação 3). Esse três modelos são apresentados nas equações 1, 2 e 3, onde  $t$  corresponde ao tempo, P à potência e T ao trabalho.

$$t = W' / (P - PC) \quad \text{Equação 1;}$$

$$T = PC \cdot t + W' \quad \text{Equação 2;}$$

$$P = W' \cdot t^{-1} + PC \quad \text{Equação 3;}$$

Esses modelos lineares e hiperbólico utilizados para determinar a PC têm sido amplamente utilizados em pesquisas envolvendo natação (PAPOTI et al., 2005a; WAKAYOSHI et al. 1993), corrida (HILL; FERGUSON, 1999; SMITH; JONES, 2001), tênis de mesa (ZAGATTO; GOBATTO, 2007; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008a,b, 2009), tênis (ZAGATTO et al., 2003a), ciclismo (JENKINS; QUIGLEY, 1990, 1992), caiaque (CLINGELEFFER et al., 1994), exercício em modelos animais (BILLAT et al., 2005; MARANGON et al., 2002; ZAGATTO et al., 2003a) e outros, e assim como os procedimentos que utilizam a lactacidemia e as respostas respiratórias, esse modelo também é

considerado um bom parâmetro para estimar a intensidade correspondente à MFEL (PAPOTI et al., 2005a; WAKAYOSHI et al. 1993; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b).

Ainda, a intensidade de PC tem apresentado correlações significativas com as intensidades de limiar ventilatório (MORITANI et al., 1981), limiar anaeróbio (KOKUBUN, 1996; WAKAYOSHI et al., 1993; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b), limiar de fadiga (DeVRIES et al., 1982), limiar anaeróbio individual (McLELLAN et al., 1992) e consumo máximo de oxigênio (JENKINS; QUIGLEY, 1992), além de representar a intensidade em que ocorre equilíbrio dinâmico da [La] na intensidade correspondente a PC em exercício de carga constante e de longa duração (JENKINS; QUIGLEY, 1990; KOKUBUN, 1996; SMITH; JONES, 2001; WAKAYOSHI et al., 1993; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b).

Contudo, alguns estudos têm relatado que a intensidade de exercício correspondente a PC pode superestimar a intensidade de MFEL e LAn em aproximadamente 4% (JENKINS; QUIGLEY, 1990, 1992; PAPOTI et al., 2005a; SMITH; JONES, 2001).

Com o objetivo de aprimorar o modelo de PC, foram elaborados mais dois modelos matemáticos (BOSQUET et al., 2006; BULL et al., 2000; 2008, MORTON 1996), que incorporaram o parâmetro de potência máxima (Pmax) ao modelo. Esse parâmetro Pmax corresponde à intensidade equivalente ao  $t_{lim}$  equivalente a zero. Esses modelos são determinados por meio do ajuste exponencial da relação entre a potência e o  $t_{lim}$  (equação 4), na qual estima-se o parâmetro aeróbio e Pmax; e o outro modelo determinado por meio do ajuste não linear, utilizando essa mesma relação potência e o  $t_{lim}$  é denominado modelo de 3 parâmetros (equação 5), pois estima a intensidade de PC,  $W'$  e a Pmax. Esses dois novos modelos são apresentados pelas equações 4 e 5, onde Pmax corresponde a potência máxima e tau à constante de tempo.

$$P = PC + (P_{max} - PC) \cdot \exp^{(-t/\tau)} \quad \text{Equação 4;}$$

$$t = [W'/(P - PC)] - [W'/(P_{max} - PC)] \quad \text{Equação 5;}$$

A elaboração, desses dois novos modelos matemáticos, objetiva encontrar melhores ajustes na determinação da PC com resultado mais confiável e próximo a MFEL. Porém, a determinação da PC utilizando os 5 modelos matemáticos, pode variar em até 24% (BULL et al., 2008). Porém, ainda não foram realizados muitos estudos utilizando esses novos modelos matemáticos, principalmente relacionando-os com a performance esportiva.

Morton e Billat (2004) propuseram um modelo alternativo de determinação da PC, através de esforços intermitentes exaustivos, ao invés de esforços contínuos como é aplicado nos procedimentos descritos anteriormente. No modelo contínuo, a PC é determinada através da manipulação da intensidade de esforço e do tempo de exercício. Entretanto, no modelo intermitente, quatro variáveis podem ser manipuladas, sendo essas, a intensidade de esforço ( $P_E$ ), a intensidade da recuperação ( $P_R$ ), o tempo de esforço ( $t_E$ ) e o tempo de recuperação ( $t_R$ ). Porém, esse modelo intermitente tem apresentado valores de PC significativamente inferiores aos obtidos pelo método contínuo (MORTON; BILLAT, 2004). A equação 6 representa o modelo de determinação da PC pelo método intermitente, onde:  $t_{TOTAL}$  corresponde ao tempo total até a exaustão (tempo dos esforços + tempos da recuperação);  $n$ , o número de ciclos completos de esforço e recuperação;  $P_E$ , a potência de esforço;  $P_R$ , a potência de recuperação;  $t_E$  corresponde ao tempo de esforço; e o  $t_R$  corresponde a duração da recuperação.

$$t_{TOTAL} = n(t_E + t_R) + \frac{W - n[(P_E - PC)t_E - (PC - P_R)t_R]}{P_E - PC} \quad \text{Equação 6;}$$

As aplicações desses procedimentos de avaliação da potência aeróbia e capacidade aeróbia são geralmente realizadas em esforços similares aos efetuados na competição esportiva ou em exercícios que possuem movimentos cíclicos, como a corrida (pista de atletismo ou esteira rolante), exercício em cicloergômetro ou bicicleta (campo ou cicloergômetro), natação (piscinas curtas, piscinas de 50m ou adaptadas) e outros.

Contudo, modalidades esportivas com movimentos realizados de modo acíclico, como o tênis, basquete, vôlei, futebol e outros, possuem maior dificuldade em relação a adaptações e aplicação desses testes de acordo com o movimento realizado no esporte. Como existem

poucos estudos aplicando esses procedimentos de avaliação em situações específicas para esses exercícios acíclicos, os atletas dessas modalidades esportivas são geralmente avaliados em ergômetros convencionais, como os citados anteriormente.

Nos esportes com raquetes, são escassos os estudos que aplicaram procedimentos específicos de avaliação, sendo esses estudos realizados, principalmente, no tênis (GIRARD et al. 2006; VERGAUWEN et al. 1998; SMEKAL et al., 2000), badminton (CHIN et al., 1995; WONISCH et al. 2003) e squash (GIRARD et al., 2005).

A necessidade de avaliação específica no esporte já foi relatada por muitos trabalhos na literatura, inclusive em estudos em esportes com raquetes (CHIN et al., 1995; GIRARD et al., 2005, 2006; SMEKAL et al., 2001). Dos poucos trabalhos realizados no tênis de mesa, Zagatto e Gobatto (2002a) relataram a possibilidade da utilização do modelo de PC adaptado para esse esporte e foi denominado por eles de frequência crítica ( $f_c$ ). Essa adaptação do modelo de PC para o tênis de mesa foi realizada com o auxílio de um lançador de bolas mecânico (robô), como ergômetro, onde os participantes realizaram rebatidas nas bolas disparadas pelo equipamento, em simulação a golpes de ataque semelhantes aos realizados no jogo. Esse procedimento foi inicialmente relatado como reprodutivo (ZAGATTO; GOBATTO, 2002a) e válido (ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO 2008b, ZAGATTO; GOBATTO, 2007) para a avaliação da capacidade aeróbia no tênis de mesa.

A maioria dos estudos nos esportes com raquetes avaliaram apenas o componente aeróbio e, apesar do componente anaeróbio ser o sistema energético predominante nos períodos de esforço desses esportes, ele foi muito pouco investigado. Possivelmente, isso é devido a maior dificuldade em adaptar os testes anaeróbios para as condições específicas desses esportes.

Os protocolos de avaliação anaeróbia são cientificamente menos estudados que os aeróbios. Entretanto, isso não significa que possuem menor relevância. Os testes anaeróbios mais investigados e aceitos são os testes de Wingate, aplicado em cicloergômetro (BAR-OR, 1987; BENEKE et al., 2002; WEINSTEIN et al., 1998;) e posteriormente adaptado para ergômetro de braço (BLIMKIE et al., 1988; HAWLEY; WILLIAMS, 1991) e teste de nado atado (PAPOTI et al., 2003, 2007); e o teste de déficit máximo de oxigênio acumulado (MAOD) (BANGSBO, 1998; MEDBO et al., 1988; REIS, 2003; TABATA et al. 1996). Porém, o teste de MAOD é considerado o procedimento mais aceito para a determinação da

capacidade anaeróbia, pois estima esse parâmetro pela determinação do máximo déficit do  $\dot{V}O_2$  em exercício supramáximo. No entanto, assim como mencionado anteriormente para o  $\dot{V}O_{2MAX}$ , para a determinação do MAOD, há necessidade do uso de um analisador de gases, além de ser, também necessária, a aplicação de várias sessões de exercício em intensidades submáximas e supramáxima.

A  $W'$  do modelo de PC parece ser um parâmetro interessante, que teoricamente pode estimar a capacidade anaeróbia em um teste de fácil aplicação e baixo custo. Contudo, a aceitação científica desse índice ainda é contraditória (BULBULIAN et al., 1996; GREEN et al., 1994; GREEN; DAWSON, 1993; HILL; SMITH, 1993; NEBELSICK-GULLETT et al., 1988; PAPOTI et al., 2003, 2005b; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008a).

Diante dessas informações, surge a necessidade de elaborar protocolos de avaliação da aptidão aeróbia e anaeróbia para mesatenistas, que possam respeitar a especificidade do esporte. A elaboração de procedimentos de avaliação, em esforço específico para o tênis de mesa, pode proporcionar aos treinadores uma ferramenta alternativa a ser incorporada e utilizada na rotina de treinamento para a prescrição e monitoramento da intensidade de treino, possibilitando um melhor planejamento do treinamento esportivo.

No tênis de mesa, poucos técnicos e treinadores utilizam os procedimentos de avaliação fisiológica para a prescrição da intensidade de exercício com o propósito de otimizar a performance esportiva. Possivelmente, isso é consequência do reduzido número de investigações científicas no tênis de mesa e também pelo pouco conhecimento das características fisiológicas do tênis de mesa.

Neste esporte, apenas recentemente, surgiram alguns trabalhos realizados pelo nosso grupo de pesquisa, nos quais foram realizadas adaptações de protocolos de avaliações clássicos da capacidade aeróbia e anaeróbia aplicados em protocolo específico (ZAGATTO; GOBATTO, 2002a; ZAGATTO, 2004; ZAGATTO; GOBATTO, 2007; ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008a,b). Inicialmente, no trabalho desenvolvido por Zagatto e Gobatto (2002a), foi verificada a reprodutibilidade do modelo de potência crítica (frequência crítica –  $f_C$ ) adaptado ao tênis de mesa, utilizando um lançador de bolas mecânico, como ergômetro. Em estudos posteriores, esse procedimento foi validado por meio da obtenção de resposta similar entre as intensidades de  $f_C$  e limiar anaeróbio; verificação de estado estável na resposta lactacidêmica, na intensidade correspondente a 100% da  $f_C$  em exercício de



longa duração (vinte minutos) (ZAGATTO; PAPOTI; GOBATTO, 2008b); e também por não ocorrer restauração da  $W'$  na intensidade correspondente a  $f_C$ . Nesses estudos, a  $f_C$  foi determinada por meio da relação linear entre frequência e o inverso do tempo (ZAGATTO; GOBATTO, 2007).

Em relação aos parâmetros anaeróbios, no estudo de Zagatto, Papoti e Gobatto (2008a) a  $W'$  estimada pelo teste de PC aplicado em teste específico para o tênis de mesa não foi significativamente correlacionada com as variáveis do teste de Wingate. Assim, esses autores concluíram que a  $W'$  não pareceu ser um bom preditor da capacidade anaeróbia no tênis de mesa. Porém, neste estudo foi realizada uma comparação entre variáveis obtidas em teste específico para o tênis de mesa com variáveis mensuradas em testes de Wingate realizados no cicloergômetro e no ergômetro de braço, a qual foi a maior limitação do estudo.

Em todas essas investigações, a frequência crítica no tênis de mesa foi estimada utilizando apenas o modelo de regressão linear entre frequência de bolas disparadas pelo robô, pelo inverso do tempo limite de esforço. Mas, existem ainda outros quatro modelos matemáticos que ainda não foram aplicados no tênis de mesa e que, talvez, possam apresentar melhores ajustes na determinação da  $f_C$  e  $W'$  para essa modalidade. Ainda, a maior parte dos nossos estudos foi realizada utilizando um robô lançador de bolas adaptado manualmente para lançar bolas de 40 mm, equipamento inicialmente fabricado para disparar bolas de 38 mm.

Esses itens ainda nos trazem algumas dúvidas em relação à adaptação do modelo de potência crítica para o tênis de mesa e, conseqüentemente, sua aplicação na rotina de treinamento do esporte. Desse modo, as investigações da aplicação desses modelos em teste específico para o tênis de mesa, utilizando melhores equipamentos e analisando um maior número de variáveis fisiológicas, poderão proporcionar resultados mais conclusivos em relação à utilização prática da frequência crítica e da  $W'$  como parâmetros capaz de estimar a capacidade aeróbia e anaeróbia, respectivamente, no tênis de mesa.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo Geral**

O presente estudo teve por objetivo investigar a aplicação do modelo de potência crítica adaptado para frequência crítica de disparo de bolas, como procedimento capaz de estimar a capacidade aeróbia e anaeróbia em protocolo específico para o tênis de mesa.

### **2.2. Objetivos Específicos**

1 - Verificar as respostas fisiológicas e as características do jogo de tênis de mesa mensuradas em competições oficiais;

2 – Comparar as respostas fisiológicas e as características do jogo de tênis de mesa entre dois grupos de atletas com diferentes níveis de performance;

3 – Comparar as respostas fisiológicas máximas e submáximas, mensuradas em testes incrementais aplicado em ergômetro específico para o tênis de mesa e em ergômetros convencionais para essa modalidade;

4 – Analisar a correlação das respostas fisiológicas máximas e submáximas, obtidas em ergômetro específico e em ergômetros convencionais com o ranking de classificação obtido em um torneio simulado de tênis de mesa;

5 – Aplicar os cinco modelos matemáticos de potência crítica para determinação da frequência crítica (1- ajuste hiperbólico entre frequência de disparo de bolas e tempo; 2- ajuste linear entre frequência de bola e o inverso do tempo; 3- ajuste linear entre o total de bolas rebatidas e o tempo; 4- ajuste exponencial entre frequência e tempo; e 5- ajuste não-linear de três parâmetros entre frequência de disparo de bolas e tempo);

6 – Comparar as intensidades obtidas nos cinco modelos de potência crítica com a intensidade limiar anaeróbia de troca gasosa ( $LAN_{GE}$ ).

7 – Correlacionar as intensidades de potência crítica com o  $LAn_{GE}$ , o consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) e com a mínima intensidade em que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi alcançado ( $f\dot{V}O_{2PICO}$ );

8 – Comparar as  $W'$  estimadas pelos quatro modelos matemáticos possíveis e correlacionar esses valores com a MAOD e com a participação anaeróbia em intensidades supramáximas.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Delineamento Experimental**

1. O presente trabalho foi dividido em quatro experimentos. Um experimento teve o objetivo de caracterizar fisiologicamente o tênis de mesa, seguido de um experimento que comparou as respostas fisiológicas máximas e submáximas mensuradas em teste específico e em ergômetros convencionais para o tênis de mesa, justificando a realização de mais dois experimentos. Esses dois novos experimentos foram propostos para investigar as aplicações e utilização dos parâmetros aeróbio e anaeróbio do modelo de potência crítica em teste específico para o tênis de mesa.

**3.1.1. EXPERIMENTO 1:** Respostas fisiológicas e características do jogo de tênis de mesa mensuradas em competições oficiais;

**3.1.2. EXPERIMENTO 2:** Respostas fisiológicas máximas e submáximas em mesatenistas: comparação entre teste específico e teste em ergômetros convencionais;

**3.1.3. EXPERIMENTO 3:** Conceito de potência crítica adaptado para o tênis de mesa: comparações entre critérios de exaustão, modelos matemáticos e correlações com parâmetros respiratórios;

**3.1.4. EXPERIMENTO 4:** Capacidade anaeróbia estimada, utilizando quatro modelos matemáticos de potência crítica em teste específico para o tênis de mesa.

#### **3.2. Participantes**

Participaram do estudo trinta e dois mesatenistas do sexo masculino, de cinco diferentes equipes de tênis de mesa do Estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul, filiados à Confederação Brasileira de Tênis de Mesa e que possuíam pelo menos três anos de treinamento sistematizado. Antes do início dos testes, foi realizada uma caracterização dos

participantes, mensurando as variáveis antropométricas (massa corporal e estatura). Os procedimentos experimentais desta tese foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa de Universidade Estadual Paulista (anexo 8.1) (protocolo #2982). Antes da aplicação dos testes, os participantes assinaram um termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Para os participantes menores de 18 anos, o termo de consentimento foi assinado por um responsável legal.

### **3.3. Procedimentos**

#### **3.3.1. Determinação da resposta fisiológica em jogos oficiais de tênis de mesa**

A resposta lactacidêmica foi mensurada em vinte e um jogos de tênis de mesa, em dois torneios oficiais. Esses vinte e um jogos foram divididos em dez jogos para atletas com desempenho de nível nacional (grupo NP) e onze jogos para os atletas com nível regional e estadual (grupo RP). Amostras sanguíneas foram coletadas do lóbulo da orelha (25 µl), um minuto após o término de cada set e aos um, três, cinco e sete minutos após o término do jogo para a determinação da lactacidemia em lactímetro eletroquímico YSI 1500 Sport (*Yellow Springs Instruments*, Yellow Springs, Ohio, EUA). A concentração média de lactato foi correspondente à média de todos os valores obtidos no jogo e a concentração de lactato pico foi considerada como o maior valor encontrado. A frequência cardíaca (FC) foi registrada a cada cinco segundos por um freqüencímetro Polar Sport Tester (Polar Electro, Kempele, Finlândia) e, assim, determinadas a FC média e FC máxima durante os jogos.

#### **3.3.2. Determinação das características do jogo de tênis de mesa**

Para análise das características do tênis de mesa, doze jogos oficiais foram gravados por uma câmera filmadora VHS (Panasonic S-VHS M9000, Japão). Foram gravados jogos entre atletas com desempenho de nível nacional (cinco jogos) e jogos entre atletas com nível regional e estadual (sete jogos). O tempo de duração de cada rali e o tempo de duração da pausa foram determinados e, a partir dessa análise, foram então calculadas a duração do rali (DR), tempo de pausa entre os ralis (tempo de pausa); razão esforço e pausa (E:P) no set e no jogo. O tempo total de jogo (TPT), tempo real de jogo (RPT), tempo efetivo de esforço (EPT, razão do RPT to TPT) e frequência de troca de bola, foram também

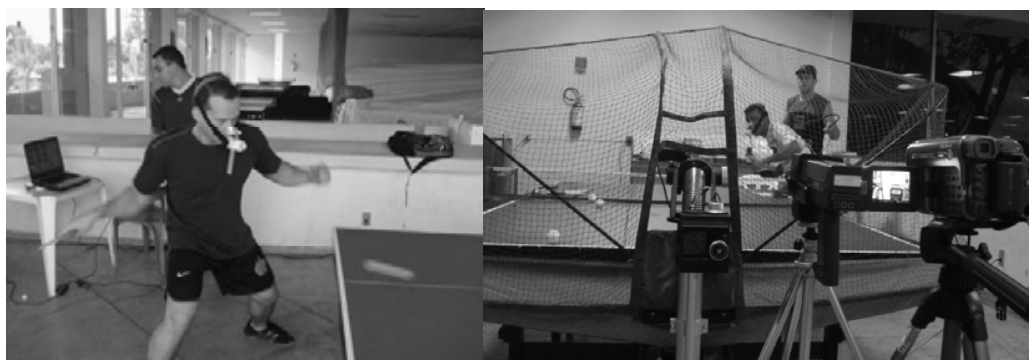
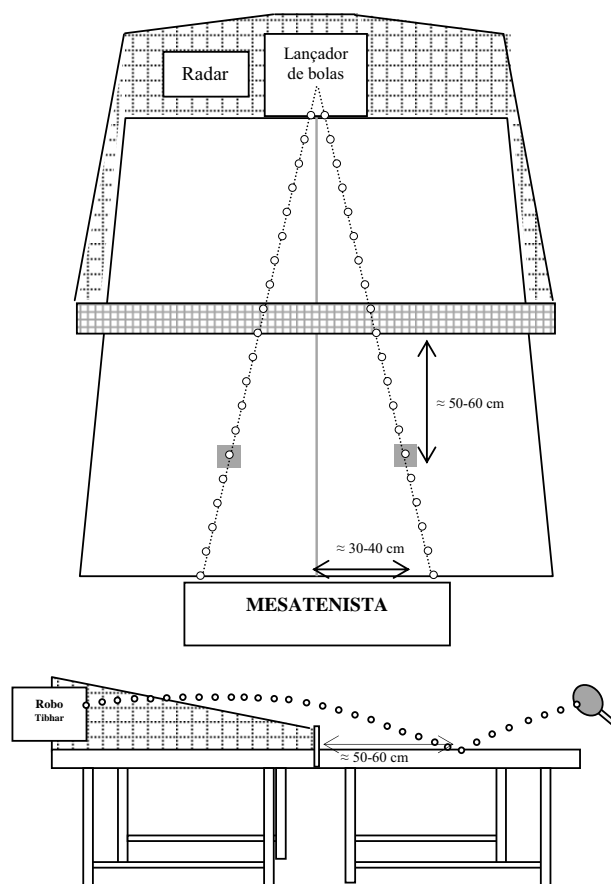
determinados. A duração do rali foi mensurada pelo registro do tempo, desde o momento em que a bola perdeu o contato com a mão do atleta sacador no momento do saque, até o momento em que o ponto foi finalizado. E a duração da pausa foi determinada a partir desse momento (término do rali) até um novo saque ser efetuado. Aproximadamente, sessenta ralis e pausas foram mensurados, duas vezes, pelo mesmo avaliador, para análise da confiabilidade do método de análise.

### 3.3.3. Testes específicos para o tênis de mesa

Nos testes específicos para o tênis de mesa, os mesatenistas foram submetidos a simulações de ataques (rebatidas) apenas de *forehand*, rebatendo as bolas lançadas por um lançador de bolas mecânico roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha). Nestes procedimentos, a alteração da intensidade de esforço foi realizada modificando a frequência de disparo da bola ( $f$ ). A velocidade e a oscilação lateral de lançamento foram mantidas constantes em todos os testes específicos e ajustadas conforme especificação do equipamento, correspondentes às unidades arbitrárias de 4 e 5, respectivamente. A velocidade da bola, na unidade 4, correspondeu a uma velocidade de aproximadamente  $35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e a oscilação lateral da bola, na unidade 5, correspondeu ao lançamento das bolas em dois pontos da mesa, de modo sistemático, sendo correspondente à regulagem máxima do equipamento (lançamento da bola correspondente a, aproximadamente, 30 a 40 cm, lateralmente, à linha central da mesa de tênis de mesa).

O robô também foi ajustado para lançar as bolas com quique (pingo) ocorrendo entre 50 a 60 cm à frente da rede. Esses ajustes foram efetuados para simular as respostas de um adversário, em um jogo de tênis de mesa e podem ser visualizados no esquema apresentado pela figura 1. O lançador de bolas roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha), possui ajustes da intensidade no controle do equipamento, que variam da unidade arbitrária 1 a 9, sendo que a alteração de uma unidade arbitrária resulta em modificação de aproximadamente  $10 \text{ bolas}\cdot\text{min}^{-1}$  na frequência de lançamento de bolas. Por essa grande variação na frequência de disparos de bolas do controle original do robô, foi construído um controle digital, que possibilitou a alteração na frequência de disparo de bola, com sensibilidade de  $1 \text{ bola}\cdot\text{min}^{-1}$ . Em todos os testes específicos foram utilizadas as  $f$  reais de lançamento de bolas.

Durante todos os testes, houve um forte encorajamento verbal para a realização do esforço máximo. No teste específico, além deste propósito, o estímulo verbal foi aplicado para estimular o participante a realizar os ataques de modo contínuo e regular, sem efetuar esforços de intensidade baixa (ataques fracos).



**Figura 1.1.** Esquema representativo do teste específico para o tênis de mesa, aplicado com a utilização do roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha).



### 3.3.3.1. Teste Incremental específico para determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ).

Dois testes incrementais máximos foram realizados para a determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), do limiar anaeróbio de trocas gasosas ( $LAN_{GE}$ ) e do limiar anaeróbio determinado pela lactacidemia ( $LAN_{[La]}$ ). A intensidade inicial de cada teste incremental máximo foi correspondente a 30  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$  e incrementada em 4  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$  a cada estágio de exercício, sendo que os testes foram realizados até a exaustão voluntária do participante. No teste incremental do experimento 2 (item 3.1.2.), cada estágio teve a duração de 3 minutos, com pausas padronizadas em 20s após cada estágio de exercício, para a coleta de amostras sanguíneas e determinação da lactacidemia. A duração dos estágios e pausas para as coletas de amostras sanguíneas também foi realizada nos ergômetros convencionais utilizados nesse experimento. Para os experimentos 3 e 4 (itens 3.1.3. e 3.1.4.), os estágios de esforços tiveram a duração de 2 minutos e não ocorreram coletas de sangue. Durante os testes, a análise de gases foi mensurada por meio de um analisador metabólico MedGraphics VO2000 (Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA), a cada ciclo de três respirações e foi calibrado antes de cada teste, conforme especificação do fabricante.

O  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi considerado como a maior média de  $\dot{V}O_2$  obtida nos últimos 30 segundos de cada estágio, enquanto que a intensidade de  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $I\dot{V}O_{2PICO}$  ou  $f\dot{V}O_{2PICO}$ ) foi correspondente à mínima intensidade de esforço em que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi atingido ou quando a exaustão ocorreu antes do término do estágio, essa intensidade foi determinada pelo método de Kuipers et al. (1985). Neste procedimento, o limiar anaeróbio de troca gasosa foi determinado e correspondente à intensidade de aumento de ambos os quocientes respiratórios  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ . Para o experimento 2, além da determinação do limiar anaeróbio pelos equivalentes respiratórios, o limiar anaeróbio também foi determinado pelo aumento abrupto da concentração de lactato sanguíneo identificado pelo método de regressão linear bi-segmentado ( $LAN_{[La]}$ ).

### 3.3.3.2. Teste de frequência crítica para determinação das intensidades de $fC$ e $W'$ utilizando diversos modelos matemáticos

No teste de frequência crítica foram aplicadas de 3 a 4 séries de exercícios em intensidades variando entre 95 a 130% da  $\dot{V}O_{2PICO}$ . Essas intensidades foram ajustadas para ocorrer exaustão entre 2 e 10 minutos. As séries foram executadas de forma aleatória, com intervalo mínimo de 2 horas, com a realização de apenas duas séries por dia. As bolas disparadas pelo robô foram rebatidas em golpes de ataque apenas de *forehand* e a série de esforço interrompida apenas com a exaustão voluntária do participante. No entanto, o tempo de esforço até a exaustão ( $t_{lim}$ ) foi registrado e correspondente à exaustão voluntária e também pela exaustão técnica, que foi considerada como a ocorrência de quatro erros consecutivos nas rebatidas. Em cada série de exercício, o consumo de oxigênio foi mensurado por meio de analisador metabólico MedGraphics VO2000 (Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA), conforme descrito anteriormente.

A  $fC$  foi estimada utilizando cinco modelos matemáticos, enquanto que a  $W'$  foi estimada utilizando apenas quatro modelos, onde:  $t_{lim}$  = tempo até a exaustão;  $f$  = frequência de lançamento de bola; TB = total de bolas disparadas ( $t_{lim} \times f$ ); e a  $f_{MAX}$  = intensidade máxima de esforço. Os modelos matemáticos que foram utilizados para estimar a  $fC$  estão descritos abaixo:

- 1) Relação linear entre  $f$  versus o inverso do tempo ( $t_{lim}^{-1}$ ) (Lin- $f$ ), onde a  $fC$  correspondeu ao coeficiente linear da regressão ( $fC = a$ ) e a  $W'$  ao coeficiente angular ( $W' = b$ ) (Morel and Zagatto 2008; Zagatto et al. 2008a; Zagatto et al. 2008b).

$$f = a + (b \times t_{lim}^{-1}) \quad (\text{Lin-}f);$$

- 2) Relação linear entre o total de bolas disparadas versus  $t_{lim}$  (Lin-TB), onde a  $fC$  foi correspondente ao coeficiente angular da regressão ( $fC = b$ ) e a  $W'$  correspondente ao coeficiente linear ( $W' = a$ ), adaptado de Monod e Scherrer (1965).

$$TB = a + (b \times t_{lim}) \quad (\text{Lin-TB});$$

- 3) Relação hiperbólica entre a  $f$  e o tempo de exercício ( $t_{lim}$ ), denominado de modelo não linear de dois parâmetros (NLinear-2), onde a  $fC$  correspondeu à assíntota da

relação hiperbólica ( $fC = b$ ) e a  $W'$  à curvatura constante da hipérbole ( $W' = a$ ), adaptado de Monod e Scherrer (1965).

$$t_{lim} = a / (f - b) \quad (\text{NLinear-2});$$

- 4) Modelo não linear de 3 parâmetros, que inclui a variável de intensidade máxima de esforço ( $f_{MAX}$ ), que consiste na intensidade onde o tempo = 0. Este modelo foi chamado de modelo de 3 parâmetros (NLinear-3). A  $fC$  foi correspondente ao parâmetro “b” e a  $W'$  correspondente ao parâmetro “a”, adaptado de Morton (1996).

$$t_{lim} = [a / (f - b)] - [a / (f_{MAX} - b)] \quad (\text{NLinear-3});$$

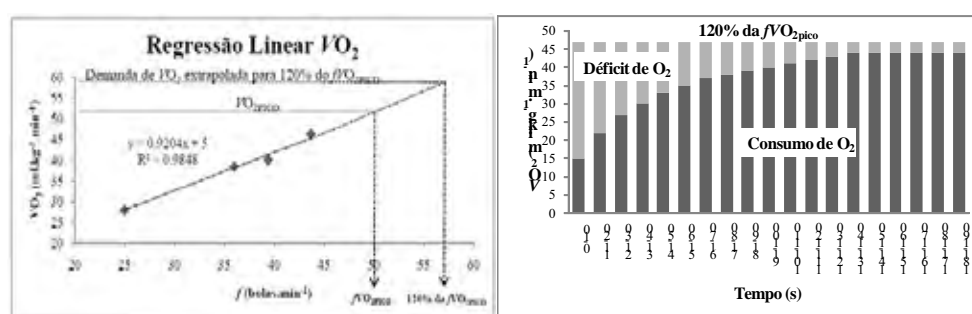
- 5) Modelo exponencial, que foi determinado pela relação exponencial entre a  $f$  e o  $t_{lim}$ , que também inclui o parâmetro  $f_{MAX}$  e uma constante de tempo ( $\tau$ ). A  $fC$  correspondeu ao parâmetro “a”, adaptado de Hopkins et al. (1989).

$$f = a + (f_{MAX} - a) \times \exp^{(-t_{lim}/\tau)} \quad (\text{EXP}).$$

### 3.3.3.3. Déficit máximo de oxigênio acumulado (MAOD) aplicado em teste específico

Para determinação do déficit máximo de oxigênio acumulado (MAOD) no tênis de mesa, inicialmente foi aplicado um teste incremental para mensuração do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) como descrito no item 3.3.3.1, com estágios de exercício com duração de 2 minutos. Após a determinação do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , os participantes realizaram quatro esforços submáximos, com duração de 7 minutos, em intensidades correspondentes a 50, 60, 70 e 80% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . O consumo de oxigênio foi mensurado em cada exercício e a média do  $\dot{V}O_2$  entre os minutos 6 e 7 foi considerada como demanda de  $\dot{V}O_2$  para a respectiva intensidade de esforço. Após a realização dos exercícios submáximos, um exercício supramáximo na intensidade correspondente a 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$  foi aplicado para a determinação do consumo de oxigênio real nessa intensidade e do tempo limite de esforço ( $t_{lim}$ ). Para os esforços submáximos, foi construída uma regressão linear entre as demandas de  $\dot{V}O_2$  e respectivas intensidades, com o y-intercepto fixado em  $5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$

(MEDBO et al., 1988), para a extrapolação linear e determinação da demanda teórica de oxigênio na intensidade de 120% da  $\dot{V}O_{2PICO}$ . Desse modo, o MAOD foi correspondente à diferença entre a área da demanda de oxigênio teórica supramáxima e a área do consumo real de oxigênio determinada pelo método trapezoidal. A figura 2 apresenta a construção da regressão linear para determinação da intensidade e demanda de oxigênio de 120% da  $\dot{V}O_{2PICO}$  e também a resposta do consumo de oxigênio na intensidade supramáxima para a obtenção do déficit máximo de oxigênio acumulado.



**Figura 1.2.** Regressão linear para obtenção da intensidade e demanda de oxigênio correspondente 120% da  $\dot{V}O_{2PICO}$  e também a demanda teórica de consumo de oxigênio e o consumo real de oxigênio em intensidade supramáxima.

### 3.3.4. Determinação do ranking de classificação por meio de competição simulada de tênis de mesa

O ranking de classificação no tênis de mesa foi determinado por meio de uma competição simulada entre os participantes do estudo, respeitando as regras da Federação Internacional de Tênis de Mesa (ITTF). A competição foi composta pelo sistema de eliminatória dupla.

### **3.3.5. Testes em ergômetros convencionais**

#### **3.3.5.1. Teste incremental no cicloergômetro**

Um teste incremental máximo foi realizado em cicloergômetro de frenagem mecânica Monark 894E (Monark, Suécia) com a intensidade inicial de 103 W e incrementos de 15 W a cada estágio de 3 minutos de esforço. Os participantes foram orientados a manter cadência fixa de 60 rpm até a exaustão voluntária. A altura do selim e do guidão foi ajustada, individualmente, para cada sujeito.

#### **3.3.5.2. Teste incremental no ergômetro de braço**

Um exercício incremental máximo em ergômetro de braço foi realizado no cicloergômetro de frenagem mecânica Monark 894E (Monark, Suécia), adaptado para membro superior. A intensidade inicial foi correspondente a 29 W e aumentada em aproximadamente 15 W a cada estágio de 3 minutos de exercício. Assim, como no cicloergômetro, os participantes foram orientados a manter a cadência fixa em 60 rpm até a exaustão voluntária. O ajuste da distância do tronco em relação à alavanca foi efetuado, individualmente, para cada sujeito e os participantes foram atados ao encosto do equipamento através do tórax para minimizar o auxílio do tronco na realização do teste. A cadência de exercício foi controlada por meio de visualização da cadência em um monitor de microcomputador localizado lateralmente ao ergômetro. Uma figura do cicloergômetro adaptado para membro superior é apresentado na figura 3.



**Figura 1.3.** Ciclo ergômetro Monark 894E (Monark, Suécia) adaptado para membro superior, para a aplicação do teste incremental máximo em ergômetro de braço.

### 3.3.5.3. Teste incremental em esteira rolante

O teste incremental máximo em corrida foi realizado em esteira rolante motorizada Inbramed ATL (Inbrasport, Porto Alegre, Brasil) com intensidade inicial de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e incremento de  $1,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a cada estágio de 3 minutos, com a inclinação mantida constante a 1%. A exaustão foi determinada voluntariamente pelo participante.

Nos testes realizados no cicloergômetro (item 3.3.5.1.), ergômetro de braço (item 3.3.5.2.) e esteira rolante (item 3.3.5.3.) foram padronizadas breves pausas de 20s de duração, após cada estágio de esforço para coleta de amostra sanguínea ( $25 \mu\text{L}$ ) para determinação da  $[\text{La}]$ . Amostras de sangue também foram coletadas aos 3, 5 e 7 minutos após o término dos testes para o mesmo propósito. O consumo de oxigênio ( $\dot{V}\text{O}_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $\dot{V}\text{CO}_2$ ) e a ventilação pulmonar ( $\dot{V}_E$ ) foram mensurados em todos os testes incrementais descritos acima, por meio da análise de gases a cada ciclo de três respirações, utilizando um sistema portátil de mensuração metabólica MedGraphics VO2000

(Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA). O  $\dot{V}O_2$  para cada estágio de esforço foi correspondente ao  $\dot{V}O_2$  médio dos últimos 30 s de cada estágio de exercício. O equipamento foi calibrado, imediatamente antes de cada avaliação, conforme instrução do fabricante. A frequência cardíaca (FC) também foi mensurada durante o exercício, continuamente, interconectada ao analisador metabólico MedGraphics VO2000 (Polar, Finlândia) e analisada pela média dos últimos 30s de cada estágio.

A percepção subjetiva de esforço também foi mensurada ao final de cada estágio de exercício em todos os testes incrementais pela escala de BORG de 6-20 pontos (BORG, 1982). Os maiores valores da  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}_E$  e FC obtidos nos testes incrementais foram considerados com valores pico em todos os ergômetros. A intensidade de  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $I\dot{V}O_{2PICO}$ ) foi definida como a menor intensidade em que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi alcançado em cada teste incremental. Nos ergômetros convencionais, assim como descrito no teste específico (item 3.3.3.1.), também foram determinados o  $LAN_{GE}$  e o  $LAN_{[La]}$ , pelos mesmos métodos (ponto de aumento em ambos equivalentes respiratórios  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  e intensidade de aumento abrupto da lactacidemia verificado pelo método de regressão bi-segmentada, respectivamente).

### 3.4. Análise Estatística

#### 3.4.1. Análise estatística do experimento 1

A análise descritiva foi usada para apresentar as respostas fisiológicas e as características do jogo de tênis de mesa. Os resultados são apresentados em frequência de ocorrências, média±desvio padrão, amplitude, coeficiente de variação (CV) e mediana. O teste de *Komolgorov-Smirnov* (usado para variáveis com mais de 50 amostras) e o teste de *Shapiro Wilk & Lilliefors* (variáveis com menos de 50 amostras) foram usados para análise da normalidade das variáveis. Como a normalidade foi rejeitada para a maioria das variáveis, foi utilizado o teste U de *Mann Whitney* para análise das características do jogo entre os dois diferentes grupos de performance. Como as respostas lactacidêmicas (pico e máxima) apresentaram distribuição normal, essas variáveis foram analisadas pelo teste “t” para amostras independentes. A reprodutibilidade e confiabilidade da determinação da duração do

rali e pausa foram analisadas pelos testes de *Wilcoxon*, correlações intraclass (ICC) e *Kendall tau* e, também, pela análise gráfica de *Bland-Altman*. A análise estatística foi realizada utilizando o programa *STATISTICA 7.0* (Statsoft, Inc. 2004, Tulsa, OK, EUA). Em todos os procedimentos o poder do teste também foi determinado. O nível de significância foi pré-fixado em  $P < 0,05$ .

### 3.4.2. Análise estatística do experimento 2

Os resultados são apresentados em média $\pm$ erro padrão da média. Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para analisar a normalidade das variáveis, sendo que todas apresentaram resultados normais. O teste de análise de variância (ANOVA) *two-way* para medidas repetidas, foi usado para análise de possíveis diferenças significativas entre as variáveis dependentes, obtidas nos testes incrementais em ergômetros convencionais e teste específico para o tênis de mesa. O teste “*t*” de *Student*, para amostras dependentes, foi aplicado para análise entre as intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  em cada ergômetro, enquanto que a ANOVA *one-way* para medidas repetidas, foi utilizada para a comparação da velocidade das bolas rebatidas pelos atletas, em cada estágio de exercício no teste específico. Significativos valores de *F* foram seguidos de um teste *post-hoc* de *Newman-Keul*. O teste de correlação produto-momento de *Pearson* foi utilizado para analisar a correlação entre as variáveis em todos os ergômetros, enquanto que o teste de correlação de *Spearman* foi utilizado para a correlação das variáveis fisiológicas com o ranking de classificação no tênis de mesa. Em todos os casos, foi adotado nível de significância de  $P < 0,05$ .

### 3.4.3. Análise estatística do experimento 3

Os dados de frequência de disparo de bolas e tempo até a exaustão, foram ajustados por cinco modelos matemáticos para estimar a  $fC$ , usando o programa *STATISTICA 7.0* (Statsoft, Tulsa, OK, EUA). Nas estimativas das  $fC$ , valores negativos foram excluídos dos dados. Os resultados são apresentados em média $\pm$ erro padrão da média. Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para análise da normalidade das variáveis, que possibilitou o uso de uma estatística paramétrica. O teste “*t*” foi utilizado para análise das médias entre os  $f_{lim}$ , obtidos pelos critérios de exaustão técnica e voluntária. A análise de variância (ANOVA) *two-way* para amostras repetidas, foi utilizada para análise entre as intensidades de  $fC$  estimadas usando os diferentes critérios de exaustão e os diferentes modelos matemáticos. No segundo estágio do estudo, a ANOVA *one-way* para medidas



repetidas foi usada para comparação da intensidade de  $LAN_{GE}$  com as intensidades de  $fC$ , estimadas pelos modelos matemáticos. Significativos valores de  $F$  no teste de ANOVA foram seguidos do teste *post-hoc* de Newman-Keul. O teste de correlação de *Pearson* foi utilizado para verificar a correlação entre as variáveis do estudo. Em todos os casos, foi utilizado nível de significância de  $P < 0,05$ .

#### **3.4.4. Análise estatística do experimento 4**

Os dados foram analisados estatisticamente utilizando o programa *Statistica* 7.0 (*Statsoft*, Tulsa, EUA). Os resultados são apresentados em média $\pm$ erro padrão da média (EPM). Inicialmente, a normalidade das variáveis foi analisada pelo teste de *Shapiro–Wilk*. As  $\dot{W}$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos, as  $[La]$  e as contribuições energéticas obtidas nas sessões de esforços no teste de  $fC$ , foram comparadas por meio da análise de variância *One-way* para medidas repetidas, com o *post hoc* de *Newman-Keuls* usado, se necessário. O teste de correlação produto momento de *Pearson* foi usado para as correlações entre as  $\dot{W}$  estimadas com o MAOD e o trabalho anaeróbio total obtido em cada sessão de exercício do teste de  $fC$ . Em todos os casos foi assumido nível de significância de  $P < 0,05$ .

#### **4. RESULTADOS**

Os resultados dessa tese de doutorado são subdivididos em quatro experimentos e apresentados em forma de artigos científicos.

#### 4.1. Artigo referente ao Experimento 1

### **RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E CARACTERÍSTICAS DO JOGO DE TÊNIS DE MESA MENSURADAS EM COMPETIÇÕES OFICIAIS**

ZAGATTO, AM, MOREL, EA, GOBATTO, CA. Physiological responses and characteristics of table tennis match determined in official tournaments. Journal of Strength and Conditioning Research, 24: 942-949, 2010

## ABSTRACT

The purpose of this study was to verify the physiological responses and the match characteristics of table tennis and also to compare these responses in two different performance level athletes from official tournaments. Twenty table tennis male players (twelve regional experiences – RP; and eight national and international experiences - NP) were participants in the study. Blood lactate concentration ([La]) and heart rate (HR) were measured as physiologic parameters in 21 official table tennis matches and other twelve matches had recorded the duration of rally (DR), rest time, effort and rest ratio (E:R), total playing time (TPT), effective playing time (EPT) and frequency of shots by video analyses. The [La] verified in all matches was  $1.8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $\pm 0.8$ ), while the [La] peak was  $2.2 \pm 0.8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . There are not significant differences between two groups ( $P > 0.05$ ) in both parameters. The HR was  $164 \pm 14$  bpm, corresponding to  $81.2 \pm 7.4\%$  of the predicted maximum HR. As characteristics of the matches, the DR corresponded to  $3.4 \pm 1.7$  s, rest time to  $8.1 \pm 5.1$  s, E:R to  $0.4 \pm 0.2$ , TPT to  $970.5 \pm 336.1$  s, EPT to  $44.3 \pm 23.7\%$ , and frequency of shots to  $35.3 \pm 7.7 \text{ balls}\cdot\text{min}^{-1}$ . Among groups, the rest time was lower in RP than NP. Consistently, the E:R and EPT were higher in RP than NP ( $P < 0.05$ ). The results suggest that the table tennis match present the aerobic system as principal output energy, being the phosphagenic system the main during efforts. The information of the physiological profile and the characteristic of table tennis should be used for coaches planning physical training and specific exercise prescriptions aiming the maximal sport performance.

**KEY WORDS:** Lactate, duration of rally, effort and rest ratio, aerobic system, racket-sports.

## INTRODUÇÃO

Os esportes com raquetes são compostos por exercício intermitente, com curtos períodos de esforço e pausa (22,24). Na habilidade técnica específica, esses esportes são caracterizados por movimento de potência, velocidade, força e agilidade, que são fatores predominantes no jogo e são altamente correlacionados com a performance na competição (11,17). Contudo, a demanda fisiológica nos esportes com raquetes esta diretamente associada à performance (9).

O sistema energético de fosfagênio (ATP-PCr) é o principal mecanismo responsável na ressíntese de energia (ATP) durante os períodos de esforços, sendo auxiliado pelo sistema anaeróbio glicolítico em esforços com maior duração (maior que 10 ou 15 s) (11,18). No entanto, embora apresentem esses curtos períodos de esforços, os jogos desses esportes têm uma longa duração, como o jogo de tênis que pode durar entre 1 a 5 horas, ou o tênis de mesa que pode ter a duração entre 10 a 25 minutos (12).

Essa longa duração do jogo, conseqüentemente, faz com que o sistema aeróbio apresente uma maior participação energética durante o jogo e é responsável pela rápida recuperação nos momentos de pausa, possibilitando uma condição ideal ao atleta para a realização de um novo rali (6,23). Contudo, a habilidade específica pode ser um fator determinante entre a vitória e a derrota em uma competição (7,18). Desse modo, vários estudos investigaram o perfil fisiológico dos esportes com raquetes (4,6,7,8,9,14) e também verificaram as características do jogo nesses esportes (3,4,8,10,13,14,18).

O conhecimento do perfil fisiológico do esporte é importante para possibilitar um melhor planejamento do treinamento, auxiliando na prescrição ideal do treinamento respeitando as características fisiológicas do esporte (16). Alguns pesquisadores têm investigado o perfil fisiológico dos esportes com raquetes mensurando as respostas respiratórias e as respostas lactacidêmicas durante o jogo (2,5,13,18,19).

Algumas características importantes do jogo, como a duração do rali (DR), duração da pausa (DP), tempo total de jogo (TTJ) e a razão esforço e pausa (E:P) (2,13,15,18) , assim como o perfil fisiológico, são itens que devem ser considerados na prescrição do exercício. Porém, no tênis de mesa, não existem estudos que mensuraram o perfil fisiológico e as características do jogo, dificultando um maior conhecimento do esporte.

Desse modo, o objetivo desse estudo foi verificar a resposta fisiológica e as características do jogo de tênis de mesa em competições oficiais, assim como comparar essas respostas em atletas com nível de performance regional (PR) e atletas com nível de performance nacional e internacional (PN). Para isso, as respostas da frequência cardíaca (FC) e do lactato sanguíneo ([La]) foram analisadas como características fisiológicas durante os jogos de tênis de mesa, e o tempo total de jogo (TTJ), tempo efetivo de jogo (TEJ), tempo real de jogo (TRJ), razão esforço e pausa (E:P) determinada no set e no jogo, duração do rali (DR), tempo de pausa, frequência de troca de bolas e trocas de bola por rali foram analisadas como características do jogo de tênis de mesa.

Nossas hipóteses são de que o tênis de mesa possui uma curta duração de rali e de pausa, baixas respostas lactacidêmicas e da FC durante o jogo, semelhante ao verificado em outros esportes com raquetes; e, também, que essas respostas são diferentes entre os dois grupos de performance no tênis de mesa.

## **MÉTODOS**

### **Aproximação experimental do problema:**

O desenho experimental do estudo foi principalmente descritivo. Inicialmente, para caracterizar o tênis de mesa, todos os jogos foram utilizados, sem separação por grupo, independente do nível de performance do atleta. Para o grupo de performance regional (PR), as respostas fisiológicas ([La] e FC) e as características do tênis de mesa foram determinadas em dois torneios regionais oficiais. Para o PN, a resposta fisiológica (apenas a lactacidemia) e as características do jogo foram mensuradas em dois torneios nacionais (Copa Brasil). As condições de jogo como iluminação, tamanho da área de jogo e tipo de piso foram as mesmas que as recomendadas pela Federação Internacional de Tênis de Mesa (ITTF). O campeonato do grupo PN, em que as variáveis fisiológicas foram mensuradas, foi um torneio classificatório para o torneio pré-olímpico e, desse modo, o uso de um freqüencímetro para monitoramento da FC não foi permitido. Por isso, a FC não foi mensurada para esse grupo de atletas. Todos os jogos foram disputados em um máximo de cinco sets (o atleta que vencia três sets era o vencedor) e apenas foram selecionados jogos com adversários com nível de performance similares, realizada com auxílio do treinador. Jogos com atletas com estilo defensivo e com baixa técnica não foram inclusos no estudo.

## Participantes

Vinte mesatenistas do sexo masculino participaram do estudo. Sendo doze atletas com experiência em competições regionais e, portanto, considerados como grupo de performance regional (PR – ranqueados entre a 1–25ª posição do ranking da Federação Sul-Mato-Grossense de Tênis de Mesa); e oito atletas que possuíam experiência em competições nacionais e internacionais, que foram chamados de grupo de performance nacional (PN – ranqueados entre a 5–20ª posição do ranking da Confederação Brasileira de Tênis de Mesa).

Os atletas apresentavam as seguintes características: idade de  $17,2 \pm 5,1$  anos; altura de  $1,7 \pm 0,2$  m; massa corporal de  $68,5 \pm 12,7$  kg; e percentual de gordura de  $14,7 \pm 7,2$  %, e possuíam mais de cinco anos de treinamento regular e sistemático no esporte. Os sujeitos foram informados dos riscos dos procedimentos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido antes da aplicação dos procedimentos. Os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de ética em Pesquisa para humanos da Universidade. Para os atletas menores de 18 anos, o termo de consentimentos foi assinado pelos pais ou responsável.

## Determinação das respostas fisiológicas em competições oficiais de tênis de mesa

As respostas lactacidêmicas foram determinadas em 21 jogos, sendo 10 jogos para o grupo PN e 11 jogos para o grupo PR. As amostras sanguíneas foram coletadas do lóbulo da orelha (25 µl), 1 minuto após o final de cada set e também aos minutos 1, 3, 5 e 7 após o término do jogo. A concentração de lactato média ( $[La]_{MÉDIA}$ ) foi determinada pela média total do lactato obtido durante o jogo e o lactato pico ( $[La]_{PICO}$ ), considerado como o maior valor obtido. A FC foi registrada a cada 5s por meio de um freqüencímetro *Polar Sport Tester* (Polar Electro, Kempele, Finlândia), para determinação da FC média ( $FC_{MÉDIA}$ ) e FC máxima ( $FC_{MAX}$ ).

## Determinação das características do jogo de tênis de mesa

Doze jogos oficiais foram gravados por uma câmera filmadora (Panasonic S-VHS M9000, Japão), sendo sete jogos para o grupo PR e cinco jogos para o grupo PN. Através da reprodução e análise dos jogos gravados foram determinadas a duração do rali (DR) e

duração da pausa (DP), possibilitando, também, calcular a razão esforço e pausa (E:P) no set e no jogo, tempo total de jogo (TTJ), tempo real de jogo (TRJ), tempo efetivo de jogo (TEJ), intensidade de troca de bola no rali e total de trocas de bolas por rali (apenas no grupo PN). A duração de cada rali foi considerada desde o momento em que a bola perde o contato com a mão do atleta sacador, até a finalização do ponto; e a duração da pausa foi considerada desde o período da finalização do ponto até a execução de um novo serviço. Para a análise da reprodutibilidade da duração do rali e da pausa, sessenta ralis e pausas foram analisados duas vezes.

### **Análise das amostras sanguíneas**

As amostras de sangue coletadas (25 µL) do lóbulo da orelha foram transferidas para tubos *Eppendorf* de 1,5 ml contendo 50µL de fluoreto de sódio a 1%. O homogenado foi analisado em um lactímetro eletroquímico *YSI 1500 SPORT* (*Yellow Springs Instruments*, Ohio, EUA). O analisador de lactato foi calibrado com amostras de lactato padrão de 5,0 mmol·L<sup>-1</sup> a cada cinco amostras lidas.

### **ANÁLISE ESTATÍSTICA**

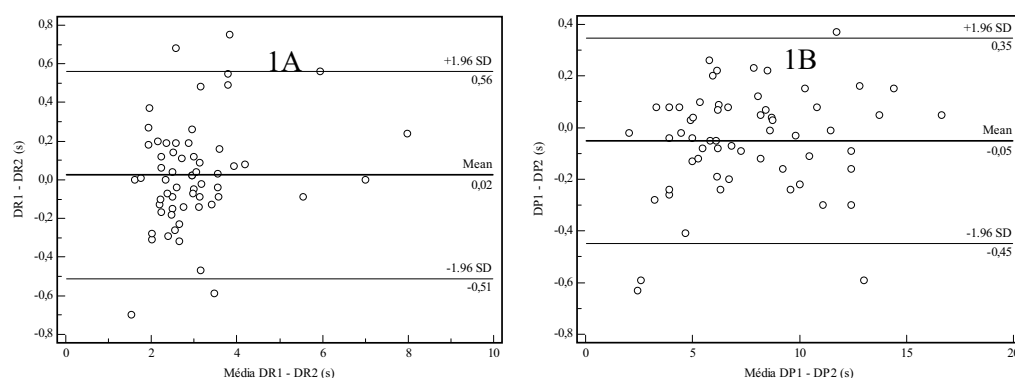
A análise descritiva foi usada para apresentar as respostas fisiológicas e as características do jogo de tênis de mesa. Os resultados são apresentados em frequência de ocorrências, média±desvio padrão, amplitude, coeficiente de variação (CV) e mediana. O teste de *Komolgorov-Smirnov* (usado para variáveis com mais de 50 amostras) e o teste de *Shapiro Wilk & Lilliefors* (variáveis com menos de 50 amostras) foram usados para análise da normalidade das variáveis. Como a normalidade foi rejeitada para a maioria das variáveis, foi utilizado o teste U de *Mann Whitney* para análise das características do jogo entre os dois diferentes grupos de atletas. Tendo as respostas lactacidêmicas (pico e máxima) apresentado distribuição normal, essas variáveis foram analisadas pelo teste “t” para amostras independentes. A reprodutibilidade e confiabilidade da determinação da duração do rali e duração da pausa foram analisadas pelos testes de *Wilcoxon*, correlações intraclasse (ICC) e *Kendall tau*, e análise gráfica de *Bland-Altman*. A análise estatística foi realizada utilizando o programa *STATISTICA 7.0* (Statsoft, Inc. 2004, Tulsa, OK, USA). Em todos os



procedimentos, o poder do teste também foi determinado. O nível de significância foi pré-fixado em  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

As respostas fisiológicas e as características do tênis de mesa obtidas em todos os jogos são apresentadas na tabela 1. A  $[La]_{PICO}$  apresentou baixos valores, além de ser verificados curtos períodos de DR. A reprodutibilidade e confiabilidade da determinação da DR e DP foram calculadas duas vezes ( $3,0 \pm 1,2$  s e  $3,5 \pm 1,2$  s para a DR; e  $7,5 \pm 3,4$  s e  $7,6 \pm 3,3$  s para o DP) e não apresentaram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ). Altos coeficientes de correlação intraclass foram verificados e foram correspondentes a 0,78 ( $P < 0,05$ ) para a DR e 0,95 ( $P < 0,05$ ) para a DP. A confiabilidade também foi atestada pela análise gráfica de *Bland-Altman* (figura 1A para a DR e figura 1B para a DP), que mostraram boas concordâncias. As figuras 2 e 3 apresentam as freqüências de ocorrências para a DR e DP, respectivamente. As maiores freqüências de ocorrências foram observadas entre 1,5 s e 3,5 s para a DR e nos primeiros segundos para RP (menor que 8 s). As DR e DP também são apresentadas na tabela 1, em média e desvio padrão, com a mediana desses resultados correspondentes a 3 s e 6,8 s, respectivamente.



**Figura 2.1.** Análise da confiabilidade da determinação da duração do rali (1A) e duração da pausa duração (1B) verificada pela análise gráfica *Bland-Altman* ( $n = 60$ ). A análise foi realizada entre as durações dos ralis e pausas determinadas em teste (DR1 e DP2, respectivamente) e re-teste (DR2 e DP2, respectivamente)

**Tabela 1.1** Respostas fisiológicas e características do jogo de tênis de mesa obtidas em jogos oficiais de tênis de mesa. Esses resultados são correspondentes a todos os jogos analisados.\*

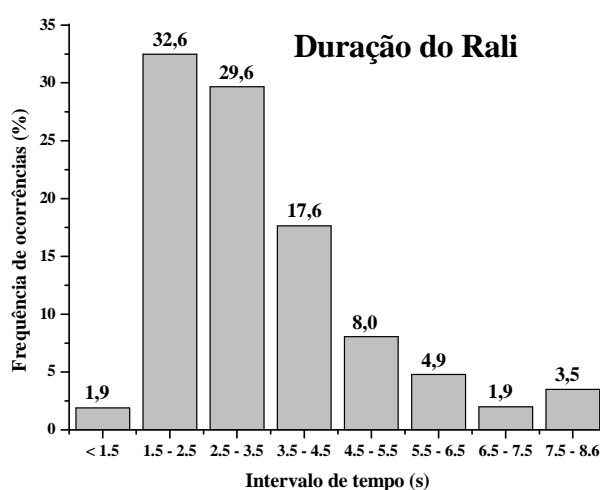
| Características dos jogos de tênis de mesa                                    | Média±Desvio Padrão | CV(%) | Amplitude      |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|----------------|
| FC <sub>MAX</sub> (bpm) ( <i>n</i> = 11 jogos)                                | 183,1±14,6          | 8,0   | 155,0 - 204,0  |
| FC <sub>MÉDIA</sub> (bpm) ( <i>n</i> = 11 jogos)                              | 163,8±13,7          | 7,9   | 140,1 - 186,6  |
| FC <sub>MAX-p</sub> (bpm) ( <i>n</i> = 11 jogos)                              | 202,5±6,2           | 3,1   | 184 – 206      |
| FC <sub>MAX</sub> relativa à FC <sub>MAX-p</sub> (%) ( <i>n</i> = 11 jogos)   | 90,3±7,6            | 8,4   | 75,1 - 100,5   |
| FC <sub>MÉDIA</sub> relativa à FC <sub>MAX-p</sub> (%) ( <i>n</i> = 11 jogos) | 81,2±7,4            | 9,1   | 68,3 – 92,9    |
| [La] <sub>MÉDIA</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> ) ( <i>n</i> = 96)                | 1,8±0,7             | 38,9  | 0,7 - 4,5      |
| [La] <sub>PICO</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> ) ( <i>n</i> = 21)                 | 2,2±0,8             | 36,4  | 1,1 - 4,5      |
| DR (s) ( <i>n</i> = 856)                                                      | 3,4±1,7             | 50,0  | 1,1 – 12,9     |
| DP (s) ( <i>n</i> = 823)                                                      | 8,1±5,1             | 63,0  | 1,2 – 33,3     |
| E:P no set ( <i>n</i> = 45)                                                   | 0,5±0,2             | 40,0  | 0,2 - 1,1      |
| E:P no jogo ( <i>n</i> = 12)                                                  | 0,4±0,2             | 50,0  | 0,2 - 0,7      |
| TTJ (s) ( <i>n</i> = 12)                                                      | 970,5±336,1         | 34,6  | 508,2 - 1675,9 |
| TRJ (s) ( <i>n</i> = 12)                                                      | 244,7±71,5          | 29,2  | 153,8 - 386,4  |
| TEJ (%) ( <i>n</i> = 12)                                                      | 44,3±23,7           | 53,5  | 17,5 – 82,2    |
| Intensidade de troca de bola no rali (bola·min <sup>-1</sup> )                | 35,3±7,7            | 21,8  | 14,0 – 75,6    |
| Número de rebatidas por rali (rebatidas)                                      | 3,9±2,0             | 51,3  | 1 – 12         |

Abreviações: FC<sub>MAX</sub> – frequência cardíaca máxima; FC<sub>MÉDIA</sub> – frequência cardíaca média; FC<sub>MAX-p</sub> – frequência cardíaca máxima predita; [La]<sub>PICO</sub> – lactato pico; [La]<sub>MÉDIA</sub> – média de lactato; DR – duração do rali; E:P – razão esforço e pausa, TTJ – tempo total de jogo; TRJ – tempo real de jogo; TEJ – tempo efetivo de jogo.

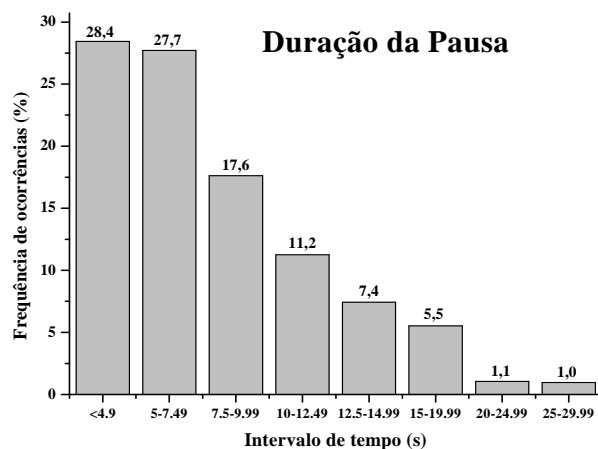
\* Resultados apresentado em média±desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e amplitude

Os resultados de [La]<sub>MÉDIA</sub> nos dois grupos foram 1,9±0,8 mmol·L<sup>-1</sup> para o grupo PR (amplitude de 4,5 – 0,8 mmol·L<sup>-1</sup>) e 1,7±0,5 mmol·L<sup>-1</sup> para o grupo PN (amplitude de 2,6 – 0,7 mmol·L<sup>-1</sup>). Os valores [La]<sub>PICO</sub> corresponderam a 2,2±1,0 mmol·L<sup>-1</sup> para o PR (amplitude de 4,5 – 1,1 mmol·L<sup>-1</sup>) e 2,1±0,4 mmol·L<sup>-1</sup> para o grupo PN (amplitude de 2,9 – 1,6 mmol·L<sup>-1</sup>). Para ambas as variáveis ([La]<sub>MÉDIA</sub> e [La]<sub>PICO</sub>) não foram verificadas diferenças

significativas entre os grupos ( $P > 0,05$ ). Os resultados das características do tênis de mesa para os grupos PR e PN são apresentados na tabela 2. A DR, TTJ e o TRJ não apresentaram diferenças significativas entre os grupos ( $P > 0,05$ ). No entanto, a DP, as razões E:R e o TEJ apresentaram significantes diferenças ( $P < 0,05$ ). Entretanto, como as características do jogo não apresentaram um comportamento normal (distribuição de Gauss) (figuras 2, 3, 4 e 5), o uso da média para interpretação dos resultados seria inadequado. A mediana encontrada para essas variáveis foram 3,1 s (grupo PN) e 3,0 s (grupo PR) para a DR; e 8,3 s (grupo PN) e 5,7 s (grupo PR) para a DP, podendo melhor representar os resultados.



**Figura 2.2.** Frequências de ocorrências da duração dos ralis obtidos em todos os jogos de tênis de mesa analisados.



**Figura 2.3.** Frequências de ocorrências da duração das pausas obtidas em todos os jogos de tênis de mesa analisados.

**Tabela 1.2.** Características do jogo de tênis de mesa correspondentes aos atletas de performance regional e atletas de performance nacional mensuradas em competições oficiais. Os resultados são apresentados em média $\pm$ DP, amplitude. O poder estatístico do teste (1- $\beta$ ) também é apresentado.

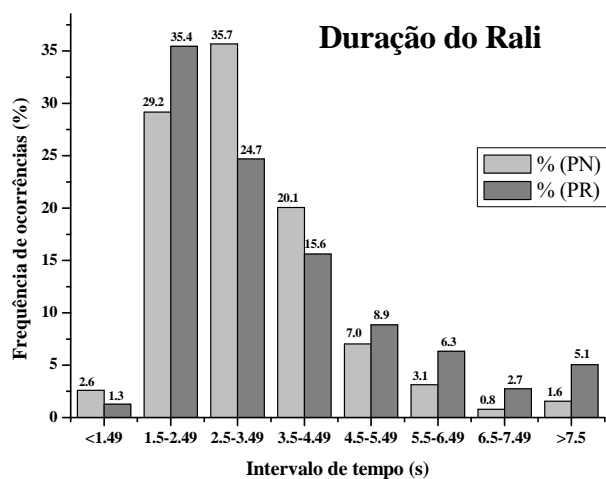
|             | Performance Regional          |                | Performance Nacional                  |                | (1- $\beta$ ) |
|-------------|-------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------|
|             | Média ( $\pm$ DP)             | Amplitude      | Média ( $\pm$ DP)                     | Amplitude      |               |
| DR(s)       | 3,6 $\pm$ 1,9 ( $n = 474$ )   | 12,9 – 1,2     | 3,2 $\pm$ 1,3 ( $n = 438$ )           | 8,5 – 1,1      | 0,99          |
| DP (s)      | 7,0 $\pm$ 4,5 ( $n = 451$ )   | 33,3 – 1,2     | 9,3 $\pm$ 5,5 $\dagger$ ( $n = 372$ ) | 70,6 – 2,1     | 0,99          |
| E:P no set  | 0,6 $\pm$ 0,2 ( $n = 25$ )    | 1,1 – 0,2      | 0,4 $\pm$ 0,1 $\dagger$ ( $n = 20$ )  | 0,5 – 0,2      | 0,99          |
| E:P no jogo | 0,5 $\pm$ 0,2 ( $n = 7$ )     | 0,7 – 0,2      | 0,3 $\pm$ 0,1 $\dagger$ ( $n = 5$ )   | 0,3 – 0,2      | 0,73          |
| TTJ (s)     | 850,3 $\pm$ 284,7 ( $n = 7$ ) | 1223,3 – 508,2 | 1138,8 $\pm$ 358,3 ( $n = 5$ )        | 1675,9 – 840,6 | 0,57          |
| TRJ (s)     | 243,7 $\pm$ 62,6 ( $n = 7$ )  | 377,2 – 198,8  | 246,1 $\pm$ 90,4 ( $n = 5$ )          | 386,4 – 153,9  | 0,42          |
| TEJ (%)     | 60,7 $\pm$ 16,6 ( $n = 7$ )   | 82,2 – 32,3    | 21,4 $\pm$ 2,4 $\dagger$ ( $n = 5$ )  | 23,1 – 17,5    | 0,81          |

Abreviações: DR – duração do rali; DP – duração da pausa; E:P – razão esforço e pausa, TTJ – tempo total de jogo; TRJ – tempo real de jogo; TEJ – tempo efetivo de jogo.

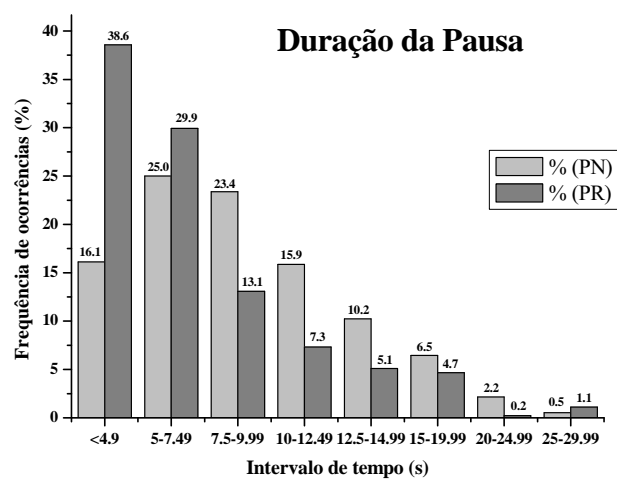
$\dagger P < 0,05$ .

As figuras 4 e 5 apresentam as frequências de ocorrências da duração do rali e da duração da pausa para os grupos PR e PN, enquanto que a figura 6 apresenta o

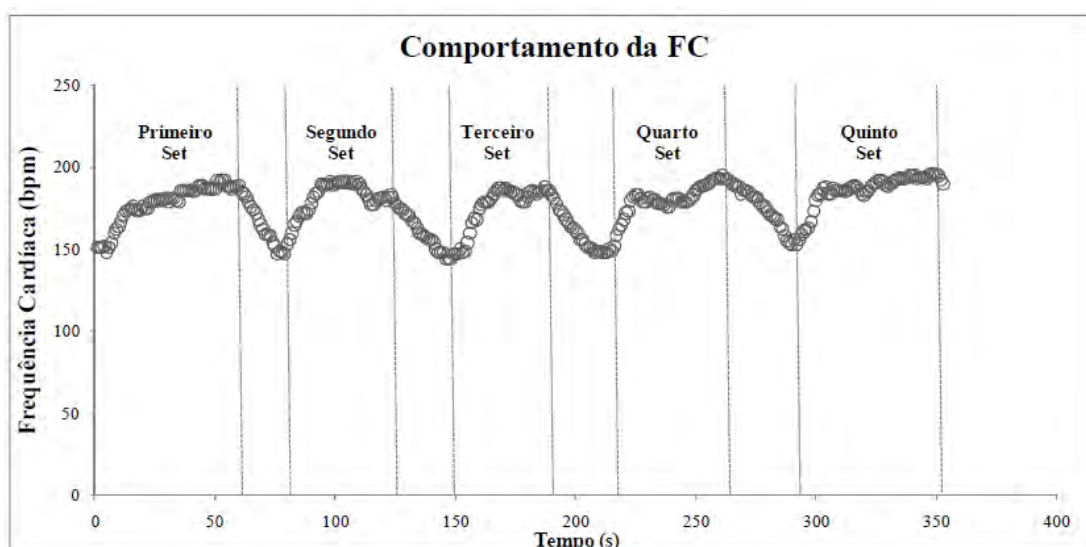
comportamento da frequência cardíaca mensurada durante o jogo e corresponde ao participante 4.



**Figura 2.4.** Frequências de ocorrências da duração do rali obtida nos grupos de performance regional (PR) e performance nacional (PN).



**Figura 2.5.** Frequências de ocorrências da duração das pausas obtidas nos grupos de performance regional (PR) e performance nacional (PN).



**Figura 2.6.** Comportamento da frequência cardíaca (FC) mensurada durante um jogo oficial de tênis de mesa com duração de cinco sets. Esses resultados são correspondente ao participante 4 do grupo de performance regional.

## DISCUSSÃO

Os principais propósitos desse estudo foram mensurar as respostas fisiológicas e verificar as características do jogo de tênis de mesa em competições oficiais. As respostas fisiológicas (lactato sanguíneo e frequência cardíaca) foram mensuradas em torneios distintos daqueles em que as características do jogo foram mensuradas, para que as pausas ocorridas para a coleta de sangue não alterasse a mensuração das características do jogo. Secundariamente, comparamos essas respostas fisiológicas e as características do jogo entre dois diferentes grupos de atletas.

### *Respostas fisiológicas e características gerais do jogo de tênis de mesa*

A  $[La]_{MÉDIA}$  obtida foi correspondente a  $1,8 \pm 0,7 \text{ mmol.L}^{-1}$  e o lactato pico foi  $2,2 \pm 0,8 \text{ mmol.L}^{-1}$ . A baixa produção de lactato obtida nos jogos de tênis de mesa foi resultado de uma maior predominância do sistema ATP-PCr no processo de ressíntese de energia durante os períodos de esforços. Essa afirmação pode ser ratificada também pela curta duração dos ralis,

que foi correspondente a  $3,4 \pm 1,7$  s (mediana de 3 s) e provavelmente foi responsável por essa baixa resposta lactacidêmica. Assim, o sistema ATP-PCr parece ser o principal sistema energético ativo nos períodos de esforços do tênis de mesa, que são curtos. A glicólise anaeróbia, que é a responsável pela produção do lactato, parece ter pouca participação durante o jogo de tênis de mesa. A baixa concentração de lactato pode ser considerada como uma característica dos esportes com raquetes. Os valores de lactato sanguíneo relatados nos esportes com raquetes estão entre  $2,0 - 3,8$  mmol.L<sup>-1</sup> no tênis (4,14,18,19),  $2,4 - 5,1$  mmol.L<sup>-1</sup> no badminton (13) e entre  $2 - 4$  mmol.L<sup>-1</sup> no squash (15).

A FC<sub>MÉDIA</sub> verificada durante o jogo foi correspondente a  $163,8 \pm 13,7$  bpm, que representou  $81,2 \pm 7,4$  % da frequência cardíaca máxima predita para a idade (FC<sub>MAX-p</sub>). A FC<sub>MAX</sub> obtida durante o jogo foi  $183,1 \pm 14,6$  bpm e correspondeu a  $90,3 \pm 7,6$  % da FC<sub>MAX-p</sub>. Smekal et al (18) e Fernandez-Fernandez et al. (4) encontraram no tênis valores de FC de  $151 \pm 19$  bpm e  $161 \pm 5$  bpm, respectivamente. Marinque e Gonzáles-Badillo (13) mencionaram uma FC média de  $173,4 \pm 8,9$  bpm no badminton e Montpetit (15) uma FC de 150 bpm no squash. Apesar do fato do tênis de mesa ter uma predominância do sistema ATP-PCr nos períodos de esforços, o sistema aeróbio demonstrou apresentar uma maior predominância durante o jogo, verificada pela sua longa duração ( $970 \pm 336,1$  s) e também pelo fato da FC<sub>MÉDIA</sub> obtida no jogo ser menor que a FC de limiar anaeróbio encontrada nos testes específicos dos esportes com raquetes (aproximadamente 88 % da FC<sub>MAX-p</sub>) (1,20,21). Chin et al. (1) relataram que no teste específico para o badminton, a FC de limiar anaeróbio foi correspondente a 91% da FC<sub>MAX</sub> predita. Porém, apesar de ser predominante durante o jogo, a demanda energética do sistema aeróbio parece ser baixa, pois ele é o predominante nos períodos de pausa.

A razão esforço e pausa, a DR, DP e a intensidade de troca de bola no rali são as mais importantes variáveis consideradas como características do jogo de tênis de mesa. A razão E:P no set foi correspondente a  $0,5 \pm 0,2$ , enquanto que a razão E:R mensurada no jogo foi  $0,4 \pm 0,2$ . Resultados semelhantes foram verificados no badminton ( $0,5 \pm 0,1$ ) (13) e tênis ( $0,5 \pm 0,3$ ) (14). Porém, esses estudos foram realizados com atletas profissionais ou com atletas com experiência internacional. O perfil fisiológico e as características do jogo de tênis de mesa devem ser ainda melhores entendidos, para que seja possível a aplicação desses conhecimentos na prescrição ideal do exercício e do treinamento.

### *Comparação da resposta fisiológica e das características do jogo de tênis de mesa entre dois diferentes grupos de mesatenistas*

Como variável fisiológica, apenas a concentração de lactato foi determinada para ambos os grupos. As  $[La]_{MÉDIA}$  e  $[La]_{PICO}$  nos dois grupos não foram significativamente diferentes. O mesmo resultado foi observado entre as DR, que foram correspondentes a  $3,6 \pm 1,9$  s e  $3,2 \pm 1,3$  s, respectivamente ( $P > 0,05$ ). O lactato é o produto final de glicólise anaeróbia e essa resposta lactacidêmica é diretamente proporcional a intensidade e duração do exercício. A curta duração do rali e o tempo pausa entre eles, provavelmente, foi o responsável pela baixa resposta lactacidêmica. Fernandes, Mendez-Villaneuva e Pluim (3) relataram que a concentração de lactato pode também ser influenciada pelo tipo de quadra no tênis e que o consumo máximo de oxigênio pode ser modificado pelo gênero, tipo de quadra e nível de performance do atleta.

Para as características do jogo de tênis de mesa, os resultados da razão E:R no set, razão E:R no jogo e o tempo efetivo de jogo no grupo PR foram significativamente superiores às verificadas no grupo PN e, certamente, a diferença nessas variáveis ocorreram devido a influência da menor duração do tempo de pausa ( $P < 0,05$ ) obtida no grupo PR. Esse maior tempo de pausa no grupo PN, provavelmente, pode ser efeito de um maior tempo gasto na recuperação, preparação e concentração para execução de um novo rali nesse grupo.

### *Aplicações práticas*

Em geral, a prescrição do exercício no tênis de mesa é ainda realizada de modo empírico. Provavelmente, isso é ocasionado pela dificuldade em obter informações científicas a respeito do perfil fisiológico e das características do tênis de mesa, que é decorrente do reduzido número de pesquisas nesse esporte. No presente estudo, investigamos essas respostas em competições oficiais, o que representa a real resposta no esporte. Considerando as respostas obtidas para a lactacidemia, FC e as durações do rali e do jogo, o sistema aeróbio apresenta uma maior participação durante o jogo de tênis de mesa, principalmente nos períodos de recuperação entre os ralis (pausa). Porém, o tênis de mesa possui uma maior predominância, nos períodos de esforços, do sistema ATP-PCr, que é o período de troca de bola que decide o vencedor do jogo. Como o tênis de mesa é um esporte intermitente, estudos que mensuram as características do jogo, como a razão E:P, DR e DP, assim como as



respostas fisiológicas, possibilitam um maior suporte aos treinadores e técnicos para realizarem a prescrição do exercício, respeitando essas características fisiológicas do esporte. Como quase todas as variáveis do estudo não apresentaram uma distribuição normal, elas deveriam ser interpretadas pela mediana e/ou pela moda. Contudo, conhecer também os valores médios é interessante para o treinador. As informações do perfil fisiológico e as características do tênis de mesa obtidas nesse estudo devem ser usadas pelos treinadores no planejamento do treinamento e também na prescrição do exercício. Finalmente, essas conclusões foram alcançadas baseadas: 1) na baixa resposta lactacidêmica obtida durante o jogo; 2) na resposta sublimiar da frequência cardíaca; 3) na curta duração dos esforços e pausas; e 4) pelas poucas modificações nas características do jogo decorrentes do nível de performance do atleta. Entretanto, essas respostas fisiológicas e características no tênis de mesa não foram completamente estabelecidas e necessitam ser ainda investigadas.

## REFERÊNCIAS

1. Chin, MI, Wong, ASK, So, RCH, Siu, OT, Steininger, K, and Lo, DTL. Sport specific fitness testing of elite badminton players. *Brit J Sports Med* 29: 153–157, 1995.
2. Christmass, MA, Richmond, SE, Cable, NT, Arthur, PG, and Hartmann, PE. Exercise intensity and metabolic responses in single tennis. *J Sports Sci* 16: 739–747, 1998.
3. Fernandes, J, Mendez-Villanueva, A, and Pluim, B. Intensity of tennis match play. *Brit J Sports Med* 40: 387–391, 2006.
4. Fernandez-Fernandez, J, Mendez-Villanueva, A, Fernandez-Garcia, B, and Terrados, N. Match activity and physiological responses during a junior female singles tennis tournament. *Br J Sports Med* 41: 711–716, 2007.
5. Ferrauti, A, Bergeron, MF, Pluim, BM, and Weber, K. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 85: 27–33, 2001.

6. Girard, O, Lattier, G, Micallef, JP, and Millet, GP. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *Br J Sports Med* 40: 521–526, 2006a.
7. Girard, O, Chevalier, R, Leveque, F, Micallef, JP, and Millet, GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *Br J Sports Med* 40: 791–796, 2006b.
8. Girard, O, Chevalier, R, Habrard, M, Sciberras, P, Hot, P, and Millet, GP. Game analysis and energy requirements of elite squash. *J Strength Cond Res* 21: 909–914, 2007.
9. Hornery, DJ, Farrow, D, Mujika, I, Young, W, and Pluim, B. An integrated physiological and performance profile of professional tennis. *Br J Sports Med* 41: 531–536, 2007.
10. Johnson, CD, Mchugh, MP, Wood, T, and Kibler, B. Performance demands of professional male tennis players. *Br J Sports Med* 40: 696–699, 2006.
11. Kovacs, MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. *Sports Med* 37: 189–198, 2007.
12. Lees, A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 21: 707–732, 2003.
13. Marinque, DC, and Gonzáles-Badillo, JJ. Analysis of the characteristics of competitive badminton. *Brit J Sports Med* 27: 62–66, 2003.
14. Mendez-Villanueva, A, Fernandez-Fernandez, J , Bishop, D, Fernandez-Garcia, B, and Terrados, N. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *Brit J Sports Med* 41: 296–300, 2007.
15. Montpetit, RR. Applied physiology of squash. *Sports Med* 10: 31–41, 1990.
16. Ribeiro, JL, Castro, BOSD, Rosa, CS, Baptista, RR, and Oliveira, AR. Heart rate and blood lactate responses to changquan and daoshu forms of modern wushu. *J Sports Sci Med CSSI*:1-4, 2006.

17. Roetert, PE, Brown, SW, Piorkowski, PA, and Woods, RB. Fitness comparisons among three different levels of elite tennis players. *J Strength Cond Res* 10: 139–43, 1996.
18. Smekal, G, Von Duvillard, SP, Rihacek, C, Pokan, R, Hofmann, P, Baron, R, Tschan, H, and Bachl, N. A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc* 33: 999–1005, 2001.
19. Smekal, G, Von Duvillard, SP, Pokan, R, Tschan, H, Baron, R, Hofmann, P, Wonisch, M, and Bachl, N. Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol* 89: 489–495, 2003.
20. Smekal, G, , Pokan, R, Von Duvillard, SP, Baron, R, Tschan, H, and Bachl, N. Comparison of laboratory and “on-court” endurance testing tennis. *Int J Sports Med* 21: 242–249, 2000.
21. Wonisch, M, Hofmann, P, Schwaberg, G, von Duvillard, SP, and Klein, W. Validation of a field test for the non-invasive determination of badminton specific aerobic performance. *Brit J Sports Med* 37: 115–118, 2003.
22. Zagatto, AM, Papoti, M, and Gobatto, CA. Anaerobic capacity may not be determined by critical power model in elite table tennis players. *J Sports Sci Med* 7: 54–59, 2008.
23. Zagatto, AM, Papoti, M, and Gobatto, CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sports Sci Med* 7: 461–466, 2008.
24. Morel, EA, Zagatto, AM. Adaptation of the lactate minimum, critical power and anaerobic threshold tests for assessment of the aerobic/anaerobic transition in a protocol specific for table tennis. *Rev Bras Med Esporte* 14: 523–527, 2008.

#### 4.2. Artigo referente ao Experimento 2

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS MÁXIMAS E SUBMÁXIMAS EM MESATENISTAS:  
COMPARAÇÃO ENTRE TESTE ESPECÍFICO E TESTES EM ERGÔMETROS  
CONVENCIONAIS**

**ABSTRACT**

The purposes of this study were: i) to compare the physiological responses obtained in maximal incremental tests in specific ergometer and conventional ergometers for table tennis; ii) to assess the correlation of the physiological responses with table tennis performance. Eleven male table tennis players of national level were studied. Gas exchanges, blood lactate, heart rate and rating of perceived exertion were measured in maximal incremental tests performed in specific test, and on cycloergometer, arm cranking and treadmill ergometers. These responses were determined in maximal and submaximal intensities. The table tennis performance was considered as ranking in a simulated tournament between the subjects. Maximal physiological variables, in general, the values obtained in specific test were significantly lower ( $P<0.05$ ) than values obtained on cycloergometer and treadmill, but higher than in arm cranking. Submaximal physiological responses only showed lower values ( $P<0.05$ ) in arm cranking ergometer than other ergometers. These maximal and submaximal physiological variables determined in each ergometer were not significantly correlated with the table tennis performance. Thus, there are differences in maximal and submaximal physiological responses between specific and conventional ergometers for table tennis; in addition, no correlation seems to exist between the physiological variables and the table tennis performance.

**KEY WORDS:** oxygen uptake; blood lactate; anaerobic threshold; specificity; performance

## INTRODUÇÃO

O tênis de mesa é caracterizado por esforços intermitentes de alta intensidade e curta duração (aproximadamente 3 s), intercalados por um período de pausa (aproximadamente 8 s) (53), no qual são envolvidas atividades de velocidade e potência de ambos os membros, inferior e superior (55). O sistema energético de fosfagênio (ATP-PCr) é o principal sistema energético predominante no mecanismo de ressíntese de ATP durante os momentos de esforços (53; 55). Mas, o sistema aeróbio possui a maior contribuição energética durante o jogo, principalmente nos períodos de recuperação entre cada esforço (31). Na atual competição dos esportes que utilizam raquetes, a aptidão aeróbia dos jogadores tem sido considerada como o principal determinante do resultado do jogo, pois possibilita a execução de repetidas rebatidas, rápidos movimentos na quadra e uma rápida recuperação entre cada rali, proporcionando uma condição ideal para disputa de um novo ponto (20; 21).

Em geral, o sistema aeróbio é o sistema energético predominante em quase todos os esportes de média a longa duração e também nos esportes de características intermitentes e, por causa da grande contribuição energética desse sistema, sua mensuração é tão importante.

A aptidão aeróbia tem sido estimada por meio da determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), que representa um índice de potência aeróbia; e também por meio da determinação do limiar anaeróbio, que representa um índice de capacidade aeróbia e é determinado utilizando as respostas lactacidêmicas, respiratórias ou ventilatórias.

Freqüentemente, ambos o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e o limiar anaeróbio são amplamente determinados em condição laboratoriais, utilizando como ergômetro uma esteira rolante e o cicloergômetro. Entretanto, esses ergômetros, que podem ser considerados como ergômetros convencionais, não apresentam o mesmo modo de exercício dos esportes com raquetes (ex., atividade contínua versus esforço intermitente, respectivamente) e também não podem simular os mesmos padrões motores realizados nesses esportes (20). Ainda, as adaptações específicas ocorridas com o treinamento físico não podem ser totalmente transferidas a grupos musculares não treinados (19), aumentando a preocupação no desenvolvimento de procedimentos específicos de avaliação e a validade ecológica do teste (3; 40; 44; 48).

Em contra partida, apesar dessa recomendação do uso de um procedimento específico na avaliação, em muitos casos, a utilização de um ergômetro convencional poderia ser mais

usual, principalmente devido ao fácil acesso a cicloergômetros e esteiras nos laboratórios. Para o tênis de mesa, o uso de um ergômetro convencional também poderia ser interessante, principalmente devido à dificuldade no desenvolvimento de testes específicos para essa modalidade. Porém, para essa possibilidade de aplicação, os ergômetros convencionais devem ser capazes de prever as respostas fisiológicas obtidas nos teste específico.

Estudos nos esportes com raquetes, que compararam as respostas fisiológicas obtidas em ergômetros convencionais e específicos, encontraram resultados diversos. Alguns estudos relataram maiores respostas fisiológicas em esforços realizados em ergômetros convencionais (46); enquanto que outros estudos encontraram maiores resultados fisiológicos quando o exercício foi realizado em teste específico (20; 23; 47; 52)

No tênis de mesa, a comparação entre esses ergômetros foi realizada apenas para a capacidade aeróbia (39; 56). Desse modo, mais estudos são necessários, utilizando outros parâmetros fisiológicos em condição máxima e submáxima, como analisar as respostas do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ), ventilação pulmonar ( $\dot{V}_E$ ), lactato sanguíneo ([La]) e frequência cardíaca (FC). Complementando, a comparação das variáveis determinadas por meio do  $\dot{V}O_2$  e [La] com outras variáveis de fácil mensuração e que podem ser usadas para monitorar a rotina de treinamento, como a FC e a escala de percepção de esforço (EPE), poderia ser interessante.

Desse modo, o objetivo desse estudo foi: i) comparar os parâmetros fisiológicos obtidos em testes incrementais em ergômetro específico para o tênis de mesa, cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira rolante; e ii) analisar a relação desses parâmetros fisiológicos com o ranking de classificação no tênis de mesa. Nossas hipóteses são de que não existem diferenças entre as respostas obtidas nos diferentes ergômetros e que o ranking de classificação no tênis de mesa será significativamente correlacionado com os resultados fisiológicos máximos e submáximos obtidos nos diversos ergômetros.

## MÉTODOS

### Sujeitos

Onze mesatenistas do sexo masculino ( $19,4 \pm 0,7$  anos;  $70,8 \pm 3,9$  kg de massa corporal; e  $\dot{V}O_{2PICO}$  de  $43,9 \pm 1,5$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) foram voluntários do estudo. Esses atletas realizavam

treinamento regular, sistemático e periodizado a pelo menos quatro anos e participavam regularmente de competições de nível estadual e nacional, sendo uma amostra tecnicamente representativa da população de mesatenistas. Os participantes foram informados dos riscos do experimento e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, antes da realização dos testes. Para atletas menores de 18 anos, o termo de consentimento foi assinado por um responsável. Os procedimentos metodológicos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro.

### **Procedimentos experimentais**

Todos os procedimentos do estudo foram aplicados em um período de duas semanas, que consistiu em cinco sessões de avaliações (quatro testes incrementais máximos e um torneio de tênis de mesa simulado), com intervalo mínimo de 48 horas entre cada sessão. Os testes incrementais máximos foram realizados no cicloergômetro, ergômetro de braço, esteira rolante e em teste específico para o tênis de mesa, para a obtenção das respostas fisiológicas em intensidade máxima e submáxima. Uma simulação de um torneio de tênis de mesa também foi realizada para obtenção do ranking de classificação no tênis de mesa, que correspondeu à classificação no evento.

Todos os testes incrementais máximos consistiram em exercícios com estágios de esforços com duração de 3 minutos, que foram realizados até a exaustão voluntária do participante. Após cada estágio de esforço foi padronizada uma pausa de 20s para coleta de 25µL de sangue do lóbulo da orelha para determinação da lactacidemia. O consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $\dot{V}CO_2$ ) e a ventilação pulmonar ( $\dot{V}_E$ ) foram mensurados em todos os testes incrementais, por meio da análise de amostras gasosas a cada ciclo de três respirações, por um sistema portátil de mensuração metabólica MedGraphics VO2000 (Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA). O equipamento foi calibrado imediatamente antes de cada avaliação seguindo as recomendações do fabricante.

A frequência cardíaca também foi mensurada, continuamente, através de um frequencímetro Polar (Polar, Finlândia), interconectado ao analisador metabólico MedGraphics VO2000. Para análise da lactacidemia ([La]), amostras de sangue também foram coletadas após cada estágio de esforço, como mencionado anteriormente e, ainda, aos



3, 5 e 7 minutos após o término do teste. As amostras sanguíneas foram analisadas em um analisador eletroquímico *YSI 1500 SPORT* (YSI, Yellow Springs, OH, EUA).

### **Testes incrementais aplicados em ergômetros convencionais**

Os testes incrementais aplicados no cicloergômetro e no ergômetro de braço foram realizados em cicloergômetro de frenagem mecânica Monark 894E (Monark, Suécia) (adaptado para membros superiores). As intensidades iniciais corresponderam a 100 e 30 W no cicloergômetro e no ergômetro de braço, respectivamente, e foram incrementadas em 15 W após cada estágio de esforço, com cadência fixa em 60 rpm. Para o teste incremental em esteira, o teste foi aplicado em esteira motorizada Inbramed ATL (Inbrasport, Porto Alegre, Brasil), que iniciou com velocidade de 8 km·h<sup>-1</sup> e foi aumentada em 1,5 km·h<sup>-1</sup>, após cada estágio de esforço, com inclinação fixa em 1%.

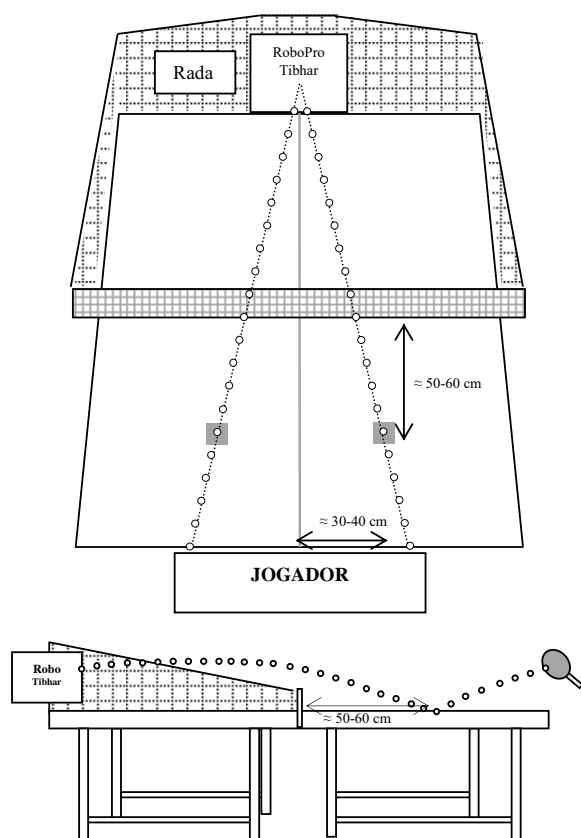
### **Teste incremental aplicado em ergômetro específico para o tênis de mesa**

O teste específico foi realizado na mesa de tênis de mesa, com os participantes rebatendo as bolas disparadas por um lançador de bolas mecânico roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha), em ataques regulares e constantes apenas de *forehand*.

O roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) possui ajustes de frequência de lançamento de bolas (intensidade), no controle do equipamento, que variam de 1 a 9 unidades arbitrárias. A alteração de uma unidade arbitrária resulta em mudança de 10 bolas·min<sup>-1</sup> na frequência de lançamento de bolas ( $f$ ). Por ter essa grande amplitude na regulação da  $f$  no controle original do equipamento, um novo controle foi construído e possibilitou o ajuste na  $f$  de disparo de bola com sensibilidade de 1 bola·min<sup>-1</sup>. O roboPro plus possui, além do ajuste da  $f$ , ajustes de velocidade da bola e oscilação lateral de lançamento, que foram mantidas constantes durante todo o teste e corresponderam às unidades arbitrárias 4 (aproximadamente 35 km·h<sup>-1</sup>) e 5, respectivamente, conforme especificação do equipamento. Esses ajustes possibilitaram o lançamento da bola em dois locais diferentes da mesa, em amplitude máxima do equipamento. Esses lançamentos ocorreram entre aproximadamente 30 a 40 cm lateralmente a linha central da mesa e o quique da bola ajustado para ocorrer entre 50 a 60 cm à frente da rede, para simular a resposta de um adversário no jogo (39). Um esquema representativo dos ajustes realizados no equipamento para a aplicação do teste específico é apresentado na figura 1 e figura 2. Neste teste específico, o

controle da intensidade de esforço foi realizado pela modificação na frequência de lançamento de bola ( $f$ ), utilizando a  $f_{\text{real}}$  de lançamento, determinada manualmente.

Após essa padronização, o teste em ergômetro específico foi realizado com intensidade inicial de disparo de bola de  $30 \text{ bolas} \cdot \text{min}^{-1}$  e aumentada em  $4 \text{ bolas} \cdot \text{min}^{-1}$ , após cada estágio de esforço até a exaustão voluntária do participante. A velocidade das bolas rebatidas pelo participante foi mensurada por um radar Stalker Professional Sport Radar (Stalker, Texas, EUA), que foi posicionado atrás do lançador de bolas. As velocidades das bolas rebatidas pelos atletas foram analisadas por meio da média de todas as rebatidas em cada estágio.



**Figura 3.1.** Esquema representativo dos ajustes efetuados no roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) para a aplicação do teste específico com uma representação dos locais de lançamento de bolas.



**Figura 3.2.** Aplicação do teste incremental específico no tênis de mesa com o uso do roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) como ergômetro e do radar Stalker Professional Sport (Stalker, TX, EUA). O ponto 1 corresponde à mensuração da análise de gases, o ponto 2 mostra o lançador de bolas mecânico e o ponto 3 mostra o radar Stalker Professional Sport (Stalker, TX, EUA).

*Mensuração das respostas fisiológicas e metabólicas nos testes incrementais.*

Em cada teste incremental, os maiores valores de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}_E$  e FC foram, respectivamente, considerados como  $\dot{V}O_{2\text{ pico}}$  ( $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ ),  $\dot{V}_E$  pico ( $\dot{V}_{E\text{PICO}}$ ), FC pico ( $FC_{\text{PICO}}$ ) e lactato pico ( $[La]_{\text{PICO}}$ ). A intensidade de  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  ( $I\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ ) foi definida como a menor intensidade em que o  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  foi obtido em cada teste incremental (7). A percepção subjetiva de esforço também foi mensurada ao final de cada estágio de exercício em todos os testes pela escala de Borg 6-20 (4).

Para as análises submáximas, as intensidades foram relativizadas e foram correspondentes ao limiar anaeróbio, que foi determinado por meio de dois procedimentos: 1) limiar anaeróbio de trocas gasosas ( $LAN_{GE}$ ), que correspondeu ao aumento de ambos equivalentes ventilatórios  $O_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ ) e  $CO_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ) (34); e 2) limiar anaeróbio de lactato ( $LAN_{[La]}$ ), que correspondeu ao segundo aumento abrupto da concentração lactacidêmica (34) e foi identificado pelo método de regressão linear bi-segmentada (32; 42; 50; 55; 56).

### Determinação do ranking de classificação no tênis de mesa

O ranking de classificação no tênis de mesa foi determinado através da realização de um campeonato simulado entre os participantes e disputado no sistema de eliminatória dupla. O ranking de classificação correspondeu à classificação obtida no campeonato.

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados são apresentados em média $\pm$ erro padrão da média. Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para analisar a normalidade das variáveis, sendo que todas apresentaram resultados normais. O teste de análise de variância (ANOVA) *two-way* para medidas repetidas foi usado para análise de possíveis diferenças significativas entre as variáveis dependentes obtidas nos testes incrementais, realizados em ergômetros convencionais e em teste específico para o tênis de mesa. O teste “*t*” de *Student* para amostras dependentes foi aplicado para análise entre as intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  em cada ergômetro. O teste de ANOVA *one-way* para medidas repetidas foi utilizado para comparação da velocidade das bolas rebatidas pelos participantes em cada estágio de exercício no teste específico. Significativos valores de *F* foram seguidos de um teste *post-hoc* de *Newman-Keul*. O teste de correlação produto-momento de *Pearson* foi utilizado para analisar a correlação entre as variáveis em todos os ergômetros, enquanto que o teste de correlação de *Spearman* foi utilizado para a correlação das variáveis fisiológicas com o ranking de classificação no tênis de mesa. Em todos os casos foi adotado um nível de significância de  $P < 0,05$ .

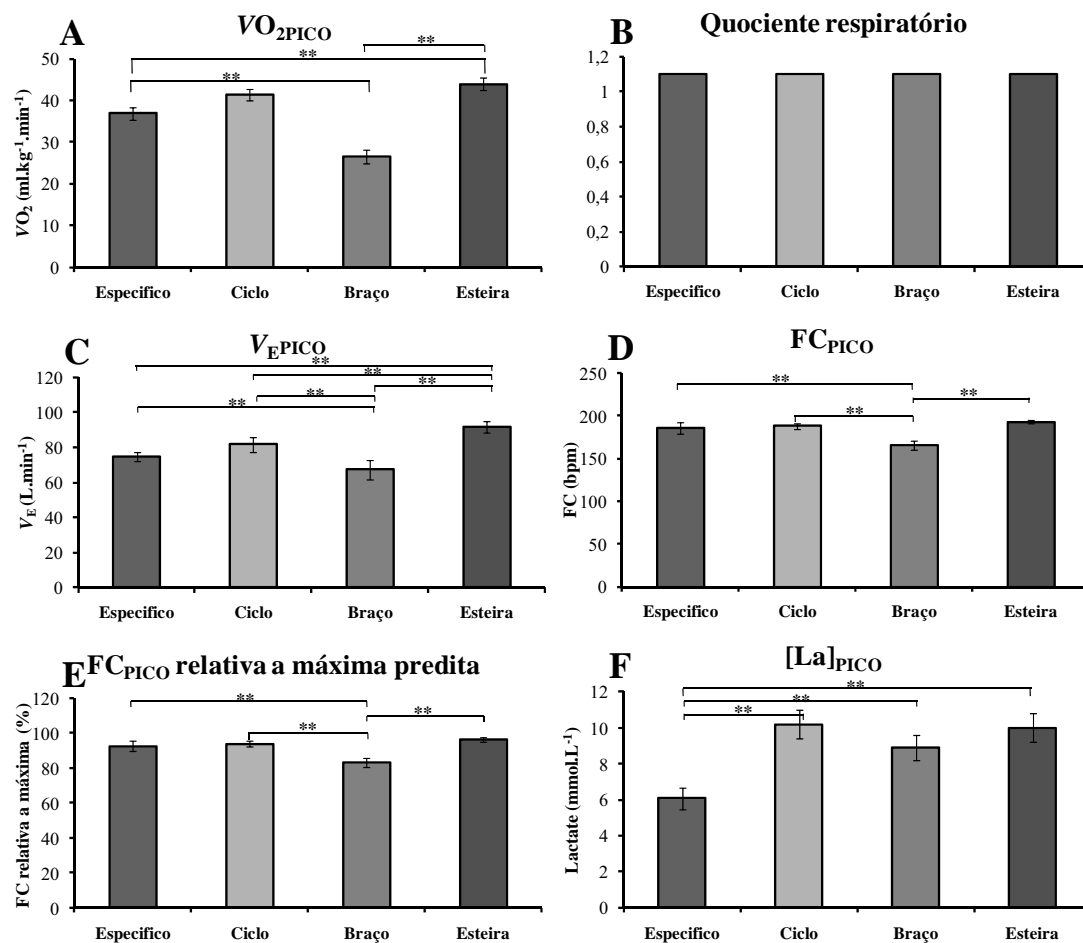
### RESULTADOS

No teste específico foram aplicados, em média,  $5,6 \pm 1,7$  estágios de exercício (amplitude de 4 a 8 estágios). A velocidade média das bolas, nas rebatidas mensuradas nos estágios pelo Stalker Professional Sport Radar (Stalker, Texas, EUA), correspondeu, em média, a  $53,4 \pm 0,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Enquanto que as velocidades das bolas obtidas em cada estágio de exercício corresponderam a  $51,6 \pm 1,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $52,1 \pm 1,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $52,2 \pm 1,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $51,8 \pm 0,9$

$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $52,2\pm1,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $54,2\pm0,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $54,6\pm1,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e  $58,7\pm4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Essas velocidades mensuradas em cada estágio não apresentaram diferenças significativas.

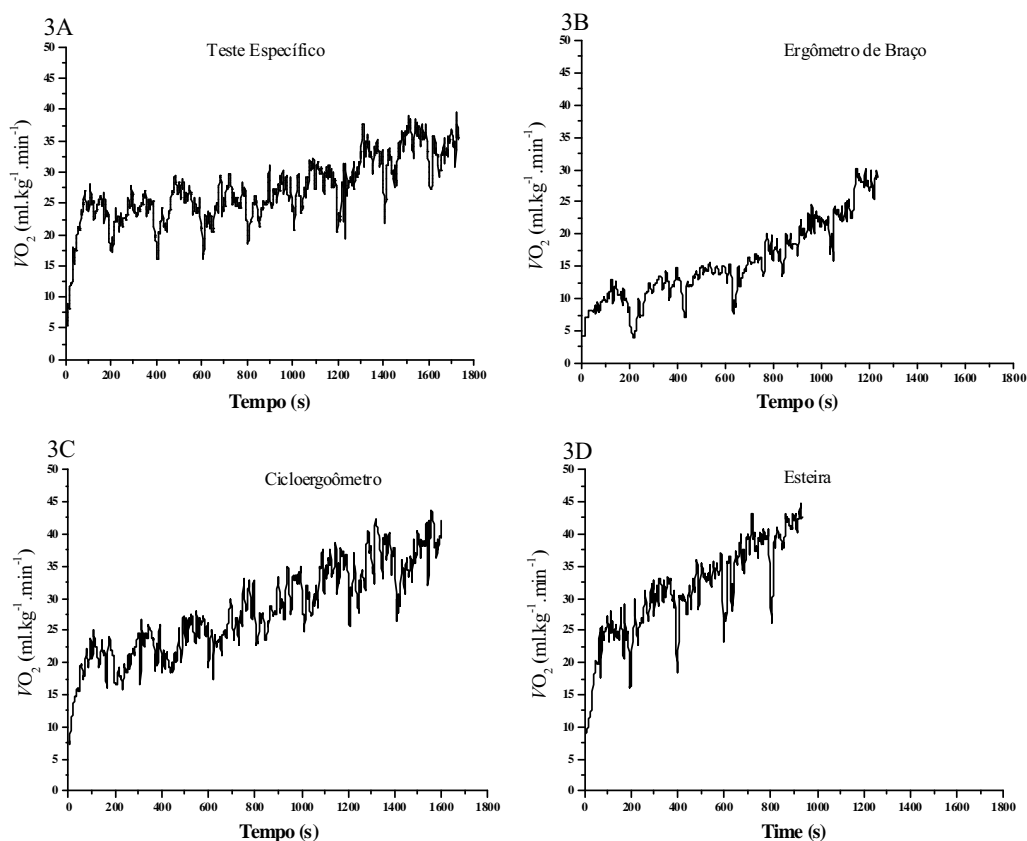
#### *Respostas fisiológicas mensuradas na exaustão*

As  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  corresponderam a  $47,3\pm3,1 \text{ bolas}\cdot\text{min}^{-1}$  no teste específico, a  $180,4\pm5,6 \text{ W}$  no cicloergômetro,  $86,8\pm6,1 \text{ W}$  no ergômetro de braço e  $13,5\pm0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  no teste em esteira. Para as variáveis obtidas na exaustão, em geral, os valores obtidos no teste específico foram significativamente inferiores aos encontrados na esteira, porém, superiores aos resultados obtidos no ergômetro de braço. A  $[\text{La}]_{\text{PICO}}$  no teste específico foi estatisticamente inferior aos valores verificados nos ergômetros convencionais, enquanto que o quociente respiratório não apresentou diferença estatística entre os ergômetros. Os resultados das variáveis fisiológicas máximas são apresentados na figura 3. A figura 4 apresenta o comportamento do  $\dot{V}\text{O}_2$  em todos os testes aplicados e o resultado corresponde ao sujeito 1. Significativos coeficientes de correlação de *Pearson* foram encontrados entre o teste específico com os ergômetros convencionais para o  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  (cicloergômetro,  $r = 0,74$ ; e ergômetro de braço,  $r = 0,87$ ),  $\text{FC}_{\text{PICO}}$  (cicloergômetro,  $r = 0,73$ ; e esteira,  $r = 0,78$ ),  $[\text{La}]_{\text{PICO}}$  (cicloergômetro,  $r = 0,73$ ; e esteira,  $r = 0,84$ ) e  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  (ergômetro de braço,  $r = 0,65$ ).



**Figura 3.3.** Parâmetros fisiológicos obtidos na exaustão nos testes incrementais aplicado em teste específico para o tênis de mesa, em cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira. A figura A corresponde ao consumo de oxigênio pico ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ); a B ao quociente respiratório pico; a C a ventilação pulmonar pico ( $\dot{V}_{EPICO}$ ); a D a frequência cardíaca pico ( $FC_{PICO}$ ); a E a FC relativa à máxima predita para a idade; e a F ao lactato sanguíneo pico ( $[La]_{PICO}$ ).

**\*\*** $P < 0,05$ .



**Figura 3.4.** Comportamento do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) obtido nos testes incrementais no ergômetro específico (A), ergômetro de braço (B), cicloergômetro (C) e esteira rolante (D). Resultados correspondentes ao participante 1.

#### *Variáveis fisiológicas obtidas em intensidades submáximas*

As intensidades submáximas foram equiparadas em relação à intensidade da transição aeróbia-anaeróbia estimada pela determinação do  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$ . Na análise em cada ergômetro, as intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  não foram diferentes estatisticamente, resultado verificado em todos os ergômetros. Esses resultados são apresentados na tabela 1. Significante correlação foi obtida entre o  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  apenas no teste específico ( $r = 0,83$ ).

Semelhante ao verificado na exaustão, as variáveis fisiológicas em intensidades submáximas também apresentaram diferenças significativas entre os ergômetros. No entanto,

em geral, os resultados obtidos no teste específico não foram diferentes estatisticamente dos resultados encontrados no cicloergômetro e esteira, mas superiores aos resultados observados no ergômetro de braço para o  $\dot{V}O_2$ , FC e FC em relação à máxima predita para a idade. Contudo, a EPE,  $\dot{V}O_2$  relativo ao  $\dot{V}O_{2PICO}$  e as intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  relativas a  $I\dot{V}O_{2PICO}$  não foram significativamente diferentes. Essas respostas fisiológicas, correspondentes às intensidades submáximas, são apresentadas na tabela 2. A tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação de *Pearson* obtidos para as variáveis fisiológicas, correspondentes ao  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  em cada ergômetro. Na análise da correlação entre as variáveis fisiológicas entre os ergômetros, significantes coeficientes de correlação foram verificados entre o teste específico com o cicloergômetro para o  $\dot{V}O_2$  no  $LAN_{[La]}$  ( $r = 0,76$ ); na esteira para a FC de  $LAN_{GE}$  ( $r = 0,86$ ), FC de  $LAN_{[La]}$  ( $r = 0,76$ ) e FC de  $LAN_{GE}$  em relação à máxima ( $r = 0,84$ ); e para o ergômetro de braço na EPE de  $LAN_{GE}$  ( $r = 0,92$ ).

**Tabela 2.1.** Intensidades correspondentes à transição aeróbia-anaeróbia, estimadas pelo método de limiar anaeróbio de troca gasosa ( $LAN_{GE}$ ) e limiar anaeróbio lactacidêmico ( $LAN_{[La]}$ ) para os testes aplicados em ergômetros convencionais e em teste específico para o tênis de mesa.

|              | Teste específico<br>(bola·min <sup>-1</sup> ) | Cicloergômetro<br>(W) | Ergômetro de braço<br>(W) | Esteira<br>(km·h <sup>-1</sup> ) |
|--------------|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| $LAN_{GE}$   | 40,5±1,8                                      | 149,3±4,9             | 63,4±4,8                  | 11,4±0,4                         |
| $LAN_{[La]}$ | 42,6±3,6                                      | 149,3±4,7             | 66,9±4,5                  | 11,3±0,3                         |



**Tabela 2.2.** Resultados dos parâmetros fisiológicos e da escala de percepção de esforço correspondentes ao LAn<sub>GE</sub> e LAn<sub>[La]</sub> obtidos no ergômetro específico, cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ERGÔMETROS       |                |                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Teste específico | Cicloergômetro | Ergômetro de braço Esteira                      |
| $\dot{V}O_2$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )                                                                                                                                                                                                                                      |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 35,2±2,2         | 33,8±1,5       | 18,0±1,1 <sup>a,b</sup> 37,7±1,7 <sup>c</sup>   |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 36,6±2,4         | 33,5±1,3       | 20,5±1,9 <sup>a,b</sup> 37,8±1,2 <sup>c</sup>   |
| $\dot{V}O_2$ relativo ao $\dot{V}O_{2PICO}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                             |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 88,2±3,3         | 81,8±2,4       | 69,0±3,8 85,4±3,6                               |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 90,2±4,2         | 81,0±1,5       | 76,0±3,7 87,0±2,8                               |
| Intensidade relativa à $\dot{V}O_{2PICO}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 87,0±3,0         | 83,0±2,4       | 73,5±3,6 84,4±3,7                               |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 89,5±4,0         | 82,8±3,9       | 78,0±3,8 84,6±2,2                               |
| FC (bpm)                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 180,8±5,7        | 169,3±3,7      | 130,7±3,1 <sup>a,b</sup> 178,9±5,0 <sup>c</sup> |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 179,2±6,0        | 168,1±3,0      | 140,5±9,4 <sup>a</sup> 177,2±4,1 <sup>c</sup>   |
| FC relativa à máxima (%)                                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 90,3±2,7         | 84,4±1,8       | 65,5±1,9 <sup>a</sup> 89,1±2,3 <sup>c</sup>     |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 89,5±2,9         | 83,8±1,3       | 70,2±4,7 <sup>a,b</sup> 88,3±1,8 <sup>c</sup>   |
| [La] (mmol.L <sup>-1</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2,8±0,4          | 4,6±0,5        | 3,9±0,3 3,7±0,4                                 |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2,8±0,3          | 3,9±0,3        | 4,1±0,5 3,3±0,3                                 |
| EPE                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                  |                |                                                 |
| LAn <sub>GE</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13,3±1,1         | 15,1±0,7       | 14,4±0,8 14,5±1,0                               |
| LAn <sub>[La]</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                         | 14,8±0,6         | 14,8±0,8       | 15,2±0,7 14,8±0,7                               |
| Abreviações: $\dot{V}O_2$ – consumo de oxigênio; $\dot{V}O_{2PICO}$ – consumo pico de oxigênio; $\dot{V}O_{2PICO}$ – mínima intensidade em que o $\dot{V}O_{2PICO}$ foi alcançado; FC– frequência cardíaca; [La] – concentração de lactato; EPE – escala de percepção subjetiva de esforço. |                  |                |                                                 |
| Diferença significativa ( $P < 0,05$ ) em relação: <sup>a</sup> teste específico; <sup>b</sup> cicloergômetro; <sup>c</sup> ergômetro de braço                                                                                                                                              |                  |                |                                                 |

**Tabela 2.3.** Coeficientes de correlação de *Pearson* obtidos entre cada parâmetro fisiológico correspondente às intensidades de  $\dot{V}O_{2GE}$  e  $LA_{n[La]}$  em cada ergômetro.

|                                             | Teste específico  | Cicloergômetro    | Ergômetro de braço | Esteira           |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| $\dot{V}O_2$                                | 0,78 <sup>a</sup> | 0,73 <sup>a</sup> | 0,33               | 0,67 <sup>a</sup> |
| $\dot{V}O_2$ relativo ao $\dot{V}O_{2PICO}$ | 0,48              | 0,15              | -0,32              | 0,70 <sup>a</sup> |
| Intensidade relativa ao $\dot{V}O_{2PICO}$  | 0,08              | -0,33             | -0,29              | 0,72 <sup>a</sup> |
| FC                                          | 0,81 <sup>a</sup> | 0,37              | 0,04               | 0,83 <sup>a</sup> |
| FC relativa à máxima                        | 0,79 <sup>a</sup> | 0,31              | 0,04               | 0,80 <sup>a</sup> |
| [La]                                        | 0,61              | 0,51              | 0,38               | 0,65 <sup>a</sup> |
| EPE                                         | -0,17             | 0,56              | 0,29               | 0,91 <sup>a</sup> |

Abreviações:  $\dot{V}O_2$  – consumo de oxigênio;  $\dot{V}O_{2PICO}$  – consumo pico de oxigênio;  $\dot{V}O_{2PICO}$  – mínima intensidade em que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi alcançado; FC – frequência cardíaca; [La] – concentração de lactato; EPE – escala de percepção subjetiva de esforço.

<sup>a</sup>  $P < 0,05$

*Correlação entre o ranking de classificação no tênis de mesa com as variáveis fisiológicas em intensidades máximas e submáximas obtidas nos diversos ergômetros.*

O ranking de classificação no tênis de mesa, determinado através de uma competição simulada entre os participantes, não foi significativamente correlacionado (teste de correlação de *Spearman*) com as variáveis fisiológicas mensuradas, ambos na exaustão e em intensidade correspondentes ao  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$ , nos testes incrementais máximos aplicados em ergômetros convencionais e teste específico para o tênis de mesa.

## DISCUSSÃO

Um grande avanço nesse estudo foi a possibilidade de mensurar a velocidade das bolas rebatidas no teste específico pelo radar Stalker Professional Sport (Stalker, Texas, EUA). As velocidades das bolas mensuradas nos estágios de exercício do teste específico não foram diferentes significativamente, mesmo com o aumento da frequência de lançamento de bolas. A mensuração da velocidade de bola em teste incremental específico em esportes com raquete foi apenas realizada no estudo de Cooke e Davey (13), que também não encontraram modificação na velocidade de bola entre os estágios de exercício.

Os principais achados do estudo foram as diferentes respostas fisiológicas encontradas entre o ergômetro específico e os ergômetros convencionais, principalmente nas variáveis obtidas na exaustão; e também a ausência de correlação significativa entre as variáveis fisiológicas correspondentes às intensidades máxima e submáximas com o ranking de classificação no tênis de mesa.

O primeiro propósito do estudo foi comparar as respostas fisiológicas obtidas no ergômetro específico para o tênis de mesa, com as respostas obtidas nos ergômetros convencionais e não realizar comparações entre cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira, que já foram extensivamente exploradas na literatura. Como os membros inferiores e superiores estão amplamente envolvidos nos esforços durante o jogo de tênis de mesa, o cicloergômetro e a esteira foram usados para estimar a atividade do membro inferior em um exercício não específico para o tênis de mesa, enquanto que o ergômetro de braço usado para estimar a atividade do membro superior.

### *Respostas fisiológicas mensuradas na exaustão*

Para as variáveis fisiológicas mensuradas na exaustão, no ergômetro específico o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e a  $\dot{V}_{EPICO}$  foram significativamente inferiores do que os obtidos na esteira e a  $[La]_{PICO}$  menor do que nos outros três ergômetros. Contrariamente aos nossos achados, nos trabalhos de Girard et al. (20; 23) e Wilkinson et al. (52) no tênis e squash, respectivamente, maiores respostas foram verificadas no teste específico quando comparados à esteira. Contudo, os testes específicos nesses estudos (20; 23; 52) foram aplicados por meio de corridas de vai e vem até alvos pré-fixados na quadra de jogo, e não com a utilização de um lançador de bolas mecânico, como realizado nesse estudo.

Essas inferiores respostas fisiológicas na exaustão, obtidas no ergômetro específico, provavelmente, são devidas a uma limitação em obter um esforço máximo quando é utilizada uma máquina de lançar bolas. No teste incremental máximo, a frequência de disparo de bola pode atingir um valor elevado, que pode impossibilitar a realização do exercício com ideal técnica e deslocamento para efetuar as rebatidas na mesa e, desse modo, não levar o atleta a alcançar a máxima resposta fisiológica orgânica. Outra possível explicação é que a realização de exercícios intensos repetitivamente, como ocorre no teste específico utilizando um lançador de bolas mecânico, poderia causar fadiga neuromuscular precoce, ocasionada pelos curtos períodos de recuperação entre cada rebatida. Essa fadiga precoce seria originada pela alteração no acoplamento excitação/contração e/ou redução da excitabilidade do sarcolema devido a distúrbios iônicos, como descrito por Girard e Millet (22).

Essa hipótese de que o máximo valor fisiológico não é atingido no teste incremental específico utilizando um lançador de bolas é suportada pelos valores obtidos de  $FC_{PICO}$  relativa à máxima predita para a idade (apenas quatro sujeitos alcançaram a FC máxima predita),  $[La]_{PICO}$  (dois participantes obtiveram  $[La]_{PICO}$  maior que  $8,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) e o quociente respiratório (apenas quatro sujeitos alcançaram um QR maior que 1,1), que representam índices que sinalizam a realização de um esforço máximo. Desse modo, a dificuldade em obter um máximo esforço no teste específico poderia explicar esse menor valor de  $\dot{V}O_{2PICO}$ , também verificado por Smekal et al. (46) no tênis, que também aplicaram teste específico utilizando um lançador de bolas mecânico.

A maior  $\dot{V}_{E_{PICO}}$  encontrada na esteira pode ser explicado pela maior  $[La]_{PICO}$  obtida nesse ergômetro. O aumento da produção de ácido láctico libera um maior número de íons hidrogênio, que resulta em um aumento na  $\dot{V}_E$  para ocorrer o tamponamento por meio do bicarbonato do excesso de hidrogênio acumulado (51). Apesar do menor  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $[La]_{PICO}$  no teste específico, a não diferença na  $FC_{PICO}$  pode ser devida a um aumento da atividade simpática ocorrida pelo estresse para a realização de uma rebatida correta e precisa durante o teste (2).

Ainda, além dessas diferentes respostas fisiológicas na exaustão, poucas correlações significativas foram verificadas entre as variáveis mensuradas no teste específico, com as variáveis mensuradas nos ergômetros convencionais. No entanto, para o  $\dot{V}O_{2PICO}$ , que é um parâmetro da potência aeróbia e, para as variáveis da  $FC_{PICO}$  no cicloergômetro e ergômetro específico, significativas correlações foram observadas, mostrando uma possibilidade de predição dos valores do teste específico pelo cicloergômetro. Girard e colaboradores (20) também não verificaram significativa correlação entre o consumo máximo de oxigênio obtido no teste específico para o tênis, com o valor obtido na esteira ( $r = 0,58$ ). Contudo, Wilkinson et al. (52) encontraram significativa correlação no teste específico no squash e a esteira ( $r = 0,94$ ), mas como mencionado anteriormente, o teste específico foi realizado por corridas de vai e vem. O exercício de andar e correr é o padrão motor mais comum realizado pelo ser humano, mas o uso da esteira para prever as respostas fisiológicas obtidas no teste específico para o tênis de mesa foi divergente.

#### *Variáveis fisiológicas em intensidades submáximas*

Inicialmente, foi considerada como intensidade submáxima a intensidade da transição aeróbia-anaeróbia. A intensidade da transição aeróbia-anaeróbia foi correspondente às intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$ . Nenhuma diferença significativa foi obtida entre essas intensidades em cada respectivo ergômetro, além de significantes coeficientes de correlação ser também verificados, tanto para as intensidades, quanto para os parâmetros fisiológicos. Isso indica que essas intensidades parecem representar o mesmo fenômeno fisiológico, corroborando com Meyer e colaboradores (34), que sugeriram o uso de uma terminologia

única para esse mesmo fenômeno fisiológico. No entanto, nossos resultados indicam que a determinação do  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$  parece ser ergômetro dependente.

Na comparação entre as respostas fisiológicas submáximas entre os ergômetros, em geral, os resultados obtidos no teste específico não foram diferentes dos obtidos no cicloergômetro e na esteira, porém superiores aos resultados encontrados no ergômetro de braço. Ainda, foram encontradas apenas significativas correlações das variáveis mensuradas no teste específico com as variáveis obtidas nos ergômetros convencionas para o  $\dot{V}O_2$  correspondente ao  $LAN_{[La]}$  no cicloergômetro ( $r = 0,76$ ); na esteira para a FC de  $LAN_{GE}$  ( $r = 0,86$ ), FC em relação à máxima no  $LAN_{[La]}$  ( $r = 0,76$ ) e  $LAN_{GE}$  ( $r = 0,84$ ); e no ergômetro de braço para a EPE de  $LAN_{GE}$  ( $r = 0,92$ ). No entanto, para as intensidades de  $LAN_{GE}$  e  $LAN_{[La]}$ , na qual correspondeu a intensidade de transição aeróbia-anaeróbia, nenhuma correlação significativa foi observada entre os ergômetros.

Embora no presente estudo não fosse investigado os efeitos do treinamento, essas poucas correlações significativas podem ser atribuídas às específicas adaptações decorrentes do treinamento não serem totalmente transferíveis a outros modos de exercício (19). Como o treinamento resulta em adaptações específicas, principalmente aeróbias, deveria ser esperada uma menor resposta fisiológica no teste específico para a mesma intensidade relativa desse esforço, devido ao aumento da eficiência energética. Porém, os similares resultados encontrados no teste específico, com os resultados no cicloergômetro e na esteira rolante, podem ser atribuídos a maior massa muscular ativa no teste específico, decorrentes da combinação de esforços de membros inferior e superior para a realização das rebatidas, como reportado por Forbes e Chilibeck (19).

No squash, Girard et al. (23) encontraram maiores valores de  $\dot{V}O_2$  correspondente ao ponto de compensação respiratório (ou seja, limiar anaeróbio de troca gasosa) no teste específico, enquanto que Smekal et al. (46) no tênis não observou diferença para o  $\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}_E$  na intensidade correspondente ao limiar anaeróbio individual, resultado similar ao encontrado por Girard et al. (20) para o  $\dot{V}O_2$  no limiar ventilatório. A  $[La]$  no  $LAN_{GE}$  e no  $LAN_{[La]}$  não foram diferentes entre os ergômetros, mas o tênis de mesa parece ter uma peculiaridade em produzir baixos valores lactacidêmicos, tanto em teste incremental (55; 56) quanto durante o jogo (53).

Em nossos resultados submáximos, apesar de em geral não serem encontradas significantes diferenças entre o teste específico com os resultados no cicloergômetro e a esteira, os ergômetros convencionais não pareceram ser capazes de prever os resultados obtidos no teste específico para o tênis de mesa. Desse modo, nossa primeira hipótese do estudo foi rejeitada.

#### *Correlação entre as respostas fisiológicas e o ranking de classificação no tênis de mesa*

O ranking de classificação no tênis de mesa foi determinado como a classificação obtida em um torneio simulado entre todos os participantes. Nenhuma correlação significativa foi verificada entre o ranking de classificação no tênis de mesa e todas as variáveis fisiológicas obtidas nos quatro testes incrementais aplicados nos diversos ergômetros. É sabido que existe uma limitação na determinação do ranking de classificação por meio de apenas uma competição simulada, na qual o ideal seria ser determinado por meio do ranking de uma federação oficial de tênis de mesa obtida durante a temporada. No entanto, nossos sujeitos foram atletas de tênis de mesa pertencentes a diferentes categorias (categorias: abaixo de 18 anos, abaixo de 21 anos; e absoluto) e, desse modo, o uso do ranqueamento da federação não seria possível. Smekal e colaboradores (46) também não encontraram correlações significativas entre os parâmetros fisiológicos e o ranking no tênis, resultado também verificado por Wilkinson et al. (52) entre o consumo máximo de oxigênio e a performance. O tênis de mesa é um esporte de alta complexidade e de parâmetros multifatoriais (31; 49). Nossos resultados sugerem que os parâmetros fisiológicos não são determinantes para o sucesso no esporte e, desse modo, não podem prever o ranking de classificação no tênis de mesa. Assim, nossa segunda hipótese também foi rejeitada.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nossos achados relatam diferenças nas respostas fisiológicas mensuradas em ergômetro específico e convencionais para o tênis de mesa, mostrando que as adaptações específicas do treinamento não são completamente transferíveis a outros modos de exercício (19; 48). Apesar das maiores respostas fisiológicas na exaustão serem encontradas na esteira; e as respostas fisiológicas em intensidades submáximas no teste específico, cicloergômetro e

esteira, poucas correlações significativas foram verificadas entre esses ergômetros. Desse modo, o uso de ergômetros convencionais para determinação da aptidão aeróbia em mesatenistas, a utilização desses para prever os resultados de teste específico podem ser apenas considerados para  $\dot{V}O_{2PICO}$  e o  $FC_{PICO}$ , quando mensurados em exercício realizado no cicloergômetro. Contudo, é importante descrever que, apesar da fácil aplicação e acesso ao ergômetro convencional (cicloergômetro), ele apenas possibilita uma estimativa do estado de treinamento. No entanto, o teste específico deve ser usado tanto na rotina de treinamento para avaliar a aptidão aeróbia (19; 39; 39; 55; 56), pois reproduz os mesmos movimentos realizados no esporte (rebatedas, habilidades técnicas e movimentos de membros inferiores e superiores), quanto para aperfeiçoar o planejamento do treinamento (40) na prescrição do exercício (34) e monitoramento do treinamento (43).

Em conclusão, existiram significantes diferenças nas respostas fisiológicas obtidas em intensidades máxima e submáximas mensuradas em teste específico e ergômetros convencionais para o tênis de mesa; e esses parâmetros não foram correlacionados com o ranking de classificação no tênis de mesa.

## REFERÊNCIAS

1. Baron R, Petschnig R, Bachl N, Raberger G, Smekal G and Kastner P. Catecholamine excretion and heart rate as factors of psychophysical stress in table tennis. *Int J Sports Med* 13: 501-505, 1992.
2. Basset FA and Boulay MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol* 81: 214-221, 2000.
3. Billat LV and Koralsztejn JP. Significance of the velocity at  $VO_{2max}$  and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 22: 90-108, 1996.
4. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381, 1982.
5. Cooke K and Davey P. Predictors of oxygen uptake and performance during tennis. *Int J Sports Med* 29: 34-39, 2008.



6. Forbes SC and Chilibeck PD. Comparison of a kayaking ergometer protocol with an arm crank protocol for evaluating peak oxygen consumption. *J Strength Cond Res* 21: 1282-1285, 2007.
7. Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP and Millet GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *Br J Sports Med* 40: 791-796, 2006.
8. Girard O, Lattier G, Micallef JP and Millet GP. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *Br J Sports Med* 40: 521-526, 2006.
9. Girard O and Millet GP. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Neurol Clin* 26: 181-194, 2008.
10. Girard O, Sciberras P, Habrard M, Hot P, Chevalier R and Millet GP. Specific incremental test in elite squash players. *Br J Sports Med* 39: 921-926, 2005.
11. Lees A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 21: 707-732, 2003.
12. Matsumoto I, Araki H, Tsuda K, Odajima H, Nishima S, Higaki Y, Tanaka H, Tanaka M and Shindo M. Effects of swimming training on aerobic capacity and exercise induced bronchoconstriction in children with bronchial asthma. *Thorax* 54: 196-201, 1999.
13. Meyer T, Lucia A, Earnest CP and Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med* 26 Suppl 1: S38-S48, 2005.
14. Morel EA and Zagatto AM. Adaptation of lactate minimum test, critical power and anaerobic threshold to measure the aerobic/anaerobic transition in specific tests for table tennis. *Rev Bras Med Esporte* 14: 518-522, 2008.
15. Muller E, Benko U, Raschner C and Schwameder H. Specific fitness training and testing in competitive sports. *Med Sci Sports Exerc* 32: 216-220, 2000.
16. Papoti M, Vítório R, Araujo GG, Silva ARS, Santhiago V, Martins LE, Cunha SA and Gobatto CA. Determination of Force Corresponding to Maximal Lactate Steady State in Tethered Swimming. *Int J Exerc Sci* 2: 269-279, 2009.

17. Pyne DB, Lee H and Swanwick KM. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 33: 291-297, 2001.
18. Roels B, Schmitt L, Libicz S, Bentley D, Richalet JP and Millet G. Specificity of VO<sub>2</sub>MAX and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. *Br J Sports Med* 39: 965-968, 2005.
19. Smekal G, Pokan R, Von Duvillard SP, Baron R, Tschann H and Bachl N. Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Int J Sports Med* 21: 242-249, 2000.
20. Steininger K and Wodick RE. Sports-specific fitness testing in squash. *Br J Sports Med* 21: 23-26, 1987.
21. Tordi N, Belli A, Mougin F, Rouillon JD and Gimenez M. Specific and transfer effects induced by arm or leg training. *Int J Sports Med* 22: 517-524, 2001.
22. Toriola AL, Toriola OM and Igbokwe NU. Validity of specific motor skills in predicting table-tennis performance in novice players. *Percept Mot Skills* 98: 584-586, 2004.
23. Toubekis AG, Tsami AP and Tokmakidis SP. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med* 27: 117-123, 2006.
24. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN and Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35: 236-243, 1973.
25. Wilkinson M, Leedale-Brown D and Winter EM. Validity of a squash-specific fitness test. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 29-40, 2009.
26. Zagatto AM, Morel EA, and Gobatto C. A. Physiological responses and characteristics of table tennis match determined in official tournaments. *J Strength Cond Res*: In press, 2010.
27. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sports Sci Med* 7: 461-466, 2008.

28. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Comparison between Specific and Conventional Ergometers in the Aerobic Capacity Determination in Table Tennis Players. *Rev Bras Med Esporte* 15: 204-208, 2009.

#### 4.3. Artigo referente ao Experimento 3

**CONCEITO DE POTÊNCIA CRÍTICA ADAPTADO PARA O TÊNIS DE MESA:  
COMPARAÇÕES ENTRE CRITÉRIOS DE EXAUSTÃO, MODELOS  
MATEMÁTICOS E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS RESPIRATÓRIOS**

## ABSTRACT

The purposes of this study were to: i) compare the aerobic parameter ( $Cf$ ) from critical power model adapted for specific table tennis test using five mathematical models and both voluntary and technical exhaustion criteria; ii) compare each  $Cf$  estimated from the mathematical models with anaerobic gas exchange threshold ( $AnT_{GE}$ ); iii) correlate  $Cf$  with  $AnT_{GE}$ , peak oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2PEAK}$ ), and minimal intensity at which  $\dot{V}O_{2PEAK}$  was achieved ( $f\dot{V}O_{2PEAK}$ ). Eleven male table tennis players underwent the maximal incremental test to determine  $AnT_{GE}$ ,  $\dot{V}O_{2PEAK}$ , and  $f\dot{V}O_{2PEAK}$ ; and three to four exhaustive exercises to estimate  $Cf$  from five mathematical modeling.  $Cf$  estimated from the exponential model could only be determined for a few subjects and was thus not used in statistical analysis. There was no difference between times until exhaustion and  $Cf$  obtained from voluntary and technical exhaustion criteria and these were significantly correlated. In relation to mathematical modeling, the 3-parameter model was significantly lower than the two parameters models. However, the two parameters and three parameters mathematical modeling were significantly correlated.  $AnT_{GE}$  corresponded to  $47.4 \pm 3.4$  balls.min<sup>-1</sup>,  $\dot{V}O_{2PEAK}$  to  $49.8 \pm 1.1$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, and  $f\dot{V}O_{2PEAK}$  to  $56.7 \pm 3.4$  balls.min<sup>-1</sup>. The two linears models used to estimate the  $Cf$  were significantly correlated with  $AnT_{GE}$  and the three two-parameters modeling were correlated with  $f\dot{V}O_{2PEAK}$ , but no significant correlation was found between  $Cf$  and  $\dot{V}O_{2PEAK}$ .

**Key Words:** critical frequency, specific test, aerobic capacity, peak oxygen uptake, time until exhaustion.

## INTRODUÇÃO

O modelo de potência crítica (PC) é um simples e não invasivo procedimento, que estima a capacidade aeróbia por meio da relação hiperbólica potência-tempo e também por outras derivações matemáticas (9; 16; 18; 30; 34; 36; 40). A intensidade correspondente a PC, teoricamente, corresponde à maior intensidade de esforço que pode ser realizada indefinidamente sem ocorrer exaustão e parece representar a transição entre os domínios de intensidade pesado e severo (12; 32). A determinação da PC por meio das relações linear e hiperbólica entre potência-tempo e também através da relação linear trabalho-tempo, têm sido inicialmente aplicadas em exercício no ciclismo (5; 8; 18) e, devido ao sucesso do modelo, estendidas a corrida (6; 32) e natação (9; 30; 35; 36) por meio das relações entre velocidade-tempo e distância-tempo e, assim, o modelo foi chamado de velocidade crítica.

Como a aplicação do modelo de PC e suas derivações parecem ser úteis na predição da capacidade aeróbia, principalmente por ser um teste de fácil aplicação, baixo custo e não invasivo, o modelo de PC foi recentemente adaptado para esforços intermitente, permitindo estimar a capacidade por meio de simulação de alguns gestos motores realizados em esportes com esforços intermitentes (27). Pereira e colaboradores (27), para simular o bloqueio do voleibol, adaptaram o modelo de PC para saltos, alterando o intervalo de descanso entre cada salto efetuado e chamando essa adaptação de intervalo de pausa crítica. Com o mesmo propósito de estimar a capacidade aeróbia usando o modelo de PC no tênis de mesa, que também é um esporte intermitente, Zagatto, Papoti e Gobatto (40) adaptaram a PC para um modelo de frequência crítica de disparo de bolas ( $f_C$ ). Nessa adaptação, foram realizadas simulações de rebatidas apenas de *forehand* em bolas disparadas por um lançador de bolas mecânico e a frequência de disparo de bolas ( $f$ ) foi considerada como a intensidade de exercício. Esses autores aplicaram entre três a quatro sessões de exercício realizadas até a exaustão técnica do atleta, identificada por quatro erros consecutivos nas rebatidas. A  $f_C$  foi correspondente ao y-intercepto da relação linear frequência–inverso do tempo ( $\text{Lin}-f$ ) (40).

A adaptação do modelo de PC para o tênis de mesa tem apresentado valores de intensidade semelhantes e também significativamente correlacionados com as intensidades de limiar anaeróbio (determinado pelo aumento abrupto da lactacidemia) (24; 40) e de lactato mínimo (24). Ainda, na intensidade correspondente à  $f_C$  ocorreu o máximo equilíbrio dinâmico na lactacidemia em exercício contínuo, sendo que esse estado estável lactacidemico não mais ocorreu com o aumento de 6% na intensidade de esforço (40). Contudo, uma limitação desses

estudos foi que a sessão de exercício foi realizada até a exaustão técnica do participante, e não, até a exaustão voluntária. Além disso, a relação linear entre frequência–inverso do tempo ( $\text{Lin}-f$ ) foi o único modelo matemático utilizado para estimar a  $fC$ . Como na literatura, existem cinco modelos matemáticos lineares e não lineares que possibilitam determinar a PC (5; 6; 16), a aplicação de todos esses modelos no tênis de mesa poderia resultar em melhores ajustes na estimativa da  $fC$ . Ainda, as comparações da  $fC$  foram realizadas com outros procedimentos aeróbios determinados por meio da resposta lactacidêmica, como o limiar anaeróbio, lactato mínimo e máxima fase estável de lactato (24; 40). Desse modo, a comparação da  $fC$  com o consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ ), a intensidade associada ao  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  ( $f\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ ), que representa um índice de endurance (2; 22), e também com o limiar anaeróbio de trocas gasosas ( $\text{LAn}_{\text{GE}}$ ) (22), também chamado de ponto de compensação respiratória por Wasserman et al. (37) ou segundo limiar ventilatório (8), poderia ajudar a melhor compreender a utilização do  $fC$  para estimar a capacidade aeróbia no tênis de mesa. Portanto, nossa hipótese é que, em adição aos estudos prévios realizados por nós no tênis de mesa (24; 40), a  $fC$  é um bom procedimento de avaliação da capacidade aeróbia, independente do critério de exaustão e do modelo matemático utilizado. A aceitação dessa hipótese é dependente de: i) não obter diferenças significativas entre os valores de  $fC$  estimadas através dos  $f_{\text{lim}}$  obtidos pela exaustão técnica e exaustão voluntária; ii) não verificar diferenças significativas entre o limiar anaeróbio de trocas gasosas ( $\text{LAn}_{\text{GE}}$ ) e as  $fC$  estimadas por meio dos cinco modelos matemáticos; iii) verificar significantes correlações entre as  $fC$  estimadas com o  $\text{LAn}_{\text{GE}}$ , o  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  e a  $f\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ . Para isso, esse estudo foi conduzido em dois estágios. O primeiro estágio objetivou realizar comparações entre as  $fC$  estimadas pelos dois critérios de exaustão (exaustão técnica e voluntária) e também comparar as  $fC$  estimadas usando os cinco modelos matemáticos. O segundo estágio objetivou realizar comparações entre as  $fC$  estimadas pelos diferentes modelos matemáticos com a intensidade de  $\text{LAn}_{\text{GE}}$ , o  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  e  $f\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ .

## MÉTODOS

### Participantes

Nove mesatenistas do sexo masculino ( $18 \pm 1$  anos;  $62,3 \pm 4,4$  kg; e  $172,1 \pm 2,9$  cm de altura) participaram do estudo. Todos os sujeitos apresentavam pelo menos 4 anos de treinamento regular e sistemático no tênis de mesa e possuíam nível de performance nacional. Os participantes foram familiarizados com os procedimentos e equipamentos antes das aplicações dos testes. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Paulista. Antes do início do estudo, os atletas e seus pais ou responsáveis, quando pertinente, foram instruídos dos riscos e benefícios do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

### Procedimentos

Os sujeitos completaram todas as sessões de testes em 10 dias. Um teste incremental máximo e o teste de frequência crítica ( $f_C$ ) foram aplicados em teste específico para o tênis de mesa usando um lançador de bolas mecânico como ergômetro. Um intervalo mínimo de 24 horas entre cada sessão de esforço foi respeitado. Nos dois testes, o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) foi mensurado a cada ciclo de três respirações por um analisador de gases portátil (MedGraphics VO2000, Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA). O analisador de gases foi calibrado antes de cada sessão de exercício, seguindo as recomendações do fabricante. No teste de  $f_C$ , amostras sanguíneas foram coletadas do lóbulo da orelha aos 3, 5 e 7 minutos após a exaustão, em cada sessão de exercício para mensuração da lactacidemia usando um lactímetro eletroquímico YSI 1500 SPORT (YSI, *Yellow Springs*, OH, EUA). Em todos os testes, um forte encorajamento verbal foi efetuado para estimular a realização do esforço máximo.

Os testes específicos foram realizados na mesa de tênis de mesa, com os participantes realizando rebatidas apenas de *forehand* em bolas disparadas por um lançador de bolas mecânico roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha). Todos os participantes foram instruídos a realizarem as rebatidas em ataques constantes e regulares durante todo o teste. No ajuste do roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha), a velocidade e oscilação lateral de lançamento foram correspondentes às unidades arbitrárias de 4 (aproximadamente  $35 \text{ km.h}^{-1}$ ) e 5, respectivamente, conforme especificação do equipamento. Os lançamentos das bolas foram realizados em dois locais da mesa, em amplitude máxima do equipamento, que



corresponderam a lançamentos entre aproximadamente 30 a 40 cm lateralmente a linha central da mesa. O quique da bola foi ajustado para ocorrer entre 50 e 60 cm à frente da rede, para simular a resposta de um adversário no jogo de tênis de mesa. Apenas a frequência de disparo de bola ( $f$ ) foi alterada durante os testes, que foi utilizada como intensidade de exercício e ajustada pela  $f$  real de lançamento de bola.

### Teste incremental máximo

Os sujeitos foram submetidos a um teste incremental máximo para determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), a mínima intensidade em que  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi atingido ( $f\dot{V}O_{2PICO}$ ) (19) e limiar anaeróbio de trocas gasosas ( $LAn_{GE}$ ). O teste incremental iniciou com  $f$  de 30 bolas.min<sup>-1</sup> e foi aumentada em 4 bolas.min<sup>-1</sup> a cada dois minutos de esforço, sem pausa, até a exaustão voluntária. O  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi considerado como a maior média do  $\dot{V}O_2$  nos últimos 30 segundos de cada estágio, enquanto que a intensidade de  $LAn_{GE}$  foi considerada como o ponto em que ocorreu aumento de ambos equivalentes ventilatórios de  $O_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ ) e  $CO_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ) (13; 15).

### Teste de frequência crítica ( $fC$ )

No teste de  $fC$ , os atletas foram submetidos a três ou quatro sessões de exercício realizadas até a exaustão, em intensidade que variaram entre 95% e 130% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . As intensidades de exercício foram previamente selecionadas para ocorrer exaustão entre 2 e 10 minutos (24; 40). As sessões de exercício foram aplicadas de modo aleatório, respeitando um intervalo mínimo de 2 horas entre cada sessão, sendo aplicadas apenas duas sessões de exercício por dia. O tempo de esforço até a exaustão ( $tlim$ ) foi registrado em cada sessão de exercício e foi correspondente a dois critérios: i) exaustão técnica, que foi considerada como o momento em que ocorreram quatro erros consecutivos nas rebatidas (24; 40); ii) e pela exaustão voluntária do participante.

A  $fC$  foi estimada utilizando cinco modelos matemáticos, onde:  $tlim$  = tempo até a exaustão;  $f$  = frequência de lançamento de bola;  $TB$  = total de bolas disparadas ( $tlim \times f$ ); e a

$f_{MAX}$  = intensidade máxima de esforço. Os modelos matemáticos que foram utilizados para estimar  $fC$  estão descritos abaixo:

- 1) Modelo de relação linear entre  $f$  versus o inverso do tempo ( $tlim^{-1}$ ) (Lin- $f$ ), onde a  $fC$  correspondeu ao coeficiente linear da regressão ( $fC = a$ ).

$$f = a + (b \times tlim^{-1}) \quad (\text{Lin-}f);$$

- 2) Modelo de relação linear entre o total de bolas disparadas versus  $tlim$  (Lin-TB), onde a  $fC$  foi correspondente ao coeficiente angular da regressão ( $fC = b$ ).

$$TB = a + (b \times tlim) \quad (\text{Lin-TB});$$

- 3) Modelo de relação hiperbólica entre a  $f$  e o tempo de exercício ( $tlim$ ), denominado de modelo não linear de 2 parâmetros (NLinear-2), onde a  $fC$  correspondeu a assíntota da relação hiperbólica ( $fC = b$ ).

$$tlim = a / (f - b) \quad (\text{NLinear-2});$$

- 4) Modelo não linear de 3 parâmetros, que inclui a variável de intensidade máxima de esforço, que consiste na intensidade onde o tempo = 0. Este modelo foi chamado de modelo de 3 parâmetros (NLinear-3). A  $fC$  foi correspondente ao parâmetro “b”.

$$tlim = [a / (f - b)] - [a / (f_{MAX} - b)] \quad (\text{NLinear-3});$$

- 5) Modelo exponencial, que é determinado pela relação exponencial entre a  $f$  e o  $tlim$ , que também inclui o parâmetro  $f_{MAX}$  e uma constante de tempo tau ( $\tau$ ). A  $fC$  correspondeu ao parâmetro “a”.

$$f = a + (f_{MAX} - a) \times \exp^{(-tlim/tau)} \quad (\text{EXP}).$$

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de frequência e tempo foram ajustados por cinco modelos matemáticos para estimar a  $fC$  usando o programa STATISTICA 7.0 (Statsoft, Tulsa, OK, EUA). Os resultados são apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para análise da normalidade das variáveis, que possibilitou o uso de uma estatística

paramétrica. O teste “t” foi utilizado para análise das médias dos  $\dot{V}lim$  obtidos pelos critérios de exaustão técnica e voluntária. A análise de variância (ANOVA) *two-way* para amostras repetidas foi utilizada para análise das  $fC$  estimadas usando os diferentes critérios de exaustão e os diferentes modelos matemáticos. No segundo estágio do estudo, foi utilizado a ANOVA *one-way* para medidas repetidas para a comparação entre a intensidade de  $LAN_{GE}$  e as intensidades de  $fC$  estimadas por meio dos modelos matemáticos. Significativos valores de  $F$  nos testes de ANOVA foram seguidos do teste *post-hoc* de Newman-Keul. O teste de correlação de *Pearson* foi utilizado para verificar a correlação entre as variáveis do estudo. Em todos os casos foi utilizado nível de significância  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

O consumo pico de oxigênio correspondeu a  $49,8 \pm 1,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e a  $\dot{V}O_{2PICO}$  correspondeu a  $56,7 \pm 3,4 \text{ bolas.min}^{-1}$ .

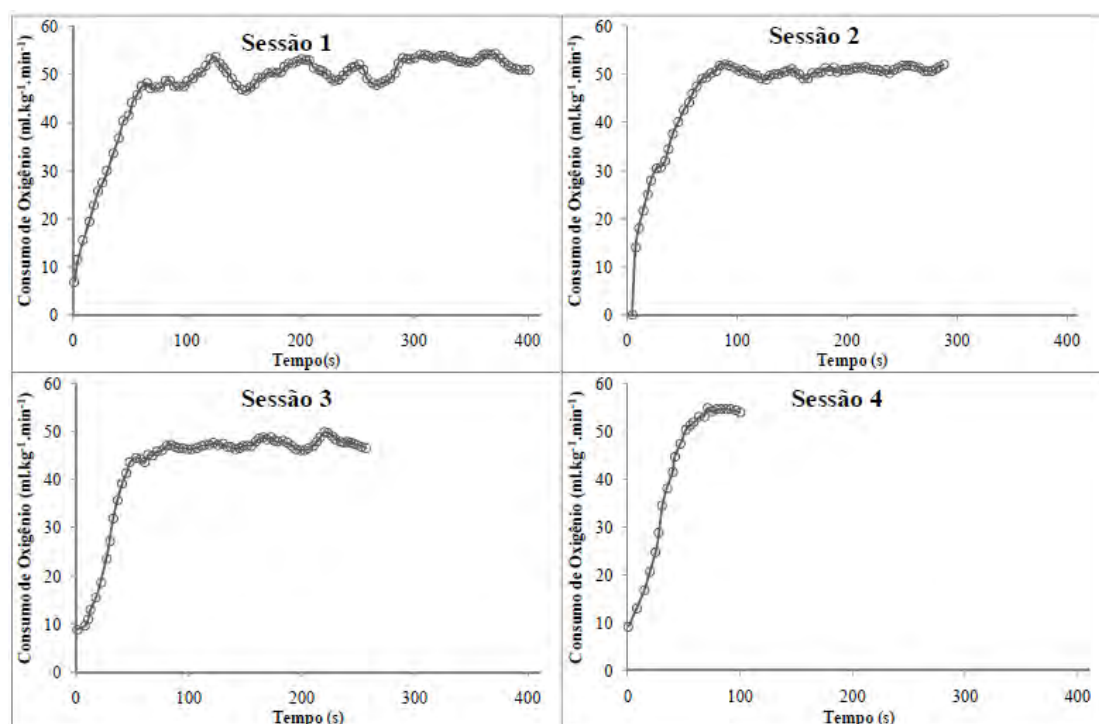
As intensidades realizadas no teste de  $fC$  foram agrupadas em 4 grupos, conforme as  $\dot{V}O_{2PICO}$  obtidas, e foram correspondentes a  $95,9 \pm 3,1\%$  ( $57,7 \pm 4,6 \text{ bolas.min}^{-1}$ ;  $n = 6$ ),  $107,0 \pm 2,2\%$  ( $60,6 \pm 3,7 \text{ bolas.min}^{-1}$ ;  $n = 9$ ),  $116,7 \pm 1,9\%$  ( $66,2 \pm 4,2 \text{ bolas.min}^{-1}$ ;  $n = 9$ ) e  $126,7 \pm 2,7\%$  da  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $68,2 \pm 3,6 \text{ bolas.min}^{-1}$ ;  $n = 5$ ). Os valores de  $\dot{V}lim$  obtidos pelos critérios de exaustão técnica e exaustão voluntária, em cada sessão de exercício, são apresentados na tabela 1. Não existiu diferença significativa entre os valores de  $\dot{V}O_2$  obtidos nos quatro grupos de intensidades aplicados no teste de  $fC$  ( $P > 0,05$ ;  $F = 1,513$ ). Os valores de  $\dot{V}O_2$  corresponderam a  $43,3 \pm 1,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $87,8 \pm 1,5\%$  do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ),  $46,0 \pm 1,0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $92,6 \pm 1,6\%$  do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ),  $47,3 \pm 1,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $95,0 \pm 2,8\%$  do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) e  $47,8 \pm 2,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $95,8 \pm 4,7\%$  do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ), respectivamente. O comportamento do  $\dot{V}O_2$  nas sessões de exercícios aplicadas no teste de  $fC$  é apresentado na figura 1 e é correspondente ao participante 2. As concentrações de lactato sanguíneo também não apresentaram diferenças entre as intensidades realizadas ( $P > 0,05$ ;  $F = 3,08$ ) ( $6,0 \pm 0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ,  $7,4 \pm 0,9 \text{ mmol.L}^{-1}$ ,  $7,4 \pm 0,8 \text{ mmol.L}^{-1}$  e  $5,5 \pm 0,4 \text{ mmol.L}^{-1}$ , respectivamente). As  $fC$  foram estimadas através de cinco modelos matemáticos usando os  $\dot{V}lim$  obtidos pela exaustão técnica e pela exaustão voluntária, e esses valores, são apresentado na tabela 2. Para o modelo NLinear-3, a  $fC$  foi estimada com sucesso para seis dos nove sujeitos quando usado o  $\dot{V}lim$  proveniente do critério

de exaustão voluntária e para sete sujeitos quando usado o  $t_{lim}$  proveniente do critério de exaustão técnica. Para o modelo EXP, a  $fC$  foi estimada com sucesso para três sujeitos, em ambos critérios de exaustão. Devido a essa baixa amostragem ( $n$ ), a  $fC$  estimada por meio do modelo EXP não foi utilizada na análise estatística. Na comparação entre as  $fC$  estimadas pelos dois diferentes critérios de exaustão, mas no mesmo modelo matemático, não mostraram diferenças significativas para os quatro modelos, além de serem significativamente correlacionadas ( $r = 1,00 \pm 0,01$ ; com amplitude entre 0,98 a 1,00). Entretanto, na comparação das  $fC$  entre os modelos matemáticos, a  $fC$  determinada pelo modelo NLinear-3 foi significativamente inferior que as  $fC$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  e Lin-TB quando utilizado o critério de exaustão voluntária. No critério de exaustão técnica, a  $fC$  estimada pelo modelo NLinear-3 foi também estatisticamente inferior as  $fC$  estimadas por meio dos outros três modelos matemáticos (modelos Lin- $f$ , Lin-TB e NLinear-2) ( $P < 0,05$ ;  $F = 9,97$ ). Na correlação entre as  $fC$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos, significativos coeficientes de correlação foram verificados entre quase todos os modelos, com exceção para os modelos Lin- $f$  e NLinear-3 na exaustão técnica (tabela 3).

Como o critério de exaustão não modificou a estimativa da  $fC$ , no segundo estágio do estudo, foi utilizado apenas as  $fC$  estimadas com os  $t_{lim}$  de exaustão técnica. O  $LAn_{GE}$  foi  $47,4 \pm 3,4$  bolas.min<sup>-1</sup> e correspondeu a  $81,9 \pm 3,4\%$  da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . A intensidade de  $LAn_{GE}$  não apresentou diferença significativa em relação as intensidades de  $fC$  estimadas pelos modelos matemáticos (ANOVA *one-way*). Apenas a  $fC$  estimada pelo modelo NLinear-3 foi significativamente inferior as  $fC$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  e Lin-TB, resultado anteriormente verificado pela ANOVA *two-way*. Ainda, a intensidade de  $LAn_{GE}$  foi significativamente correlacionada com as  $fC$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  ( $r = 0,76$ ) e Lin-TB ( $r = 0,74$ ). Correlações significativas também foram encontradas entre a  $f\dot{V}O_{2PICO}$  com as  $fC$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  ( $r = 0,83$ ), Lin-TB ( $r = 0,79$ ) e NLinear-2 ( $r = 0,70$ ). Entretanto, não existiu correlação significativa entre as  $fC$  e o  $\dot{V}O_{2PICO}$ .

**Tabela 3.1.** Tempo até a exaustão ( $t_{lim}$ ) obtidos pelos critérios de exaustão técnica e exaustão voluntária em cada sessão de exercício no teste de  $f_C$ .

|                     | Sessão 1         | Sessão 2         | Sessão 3         | Sessão 4         |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $t_{lim}$ (s)       |                  |                  |                  |                  |
| Exaustão voluntária | 481,3 $\pm$ 76,1 | 300,5 $\pm$ 26,7 | 180,2 $\pm$ 30,9 | 131,4 $\pm$ 22,9 |
| Exaustão técnica    | 431,1 $\pm$ 40,0 | 292,3 $\pm$ 27,0 | 180,2 $\pm$ 30,9 | 127,8 $\pm$ 24,4 |



**Figura 4.1.** Comportamento do consumo de oxigênio mensurado em cada sessão de exercício aplicada no teste de frequência crítica. Esses resultados são correspondentes ao sujeito 2.

**Tabela 3.2.** Resultados correspondentes as intensidades de  $fC$  estimadas por meio dos cinco modelos matemáticos de potência crítica. Também são apresentados as intensidades de  $fC$  relativa à  $\dot{V}O_{2PICO}$ , coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão do ajuste na estimativa da  $fC$  (SE).

|                       | $fC$<br>(bolas.min <sup>-1</sup> ) | % da $\dot{V}O_{2PICO}$<br>(%) | $R^2$     | SE<br>(bolas.min <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Exaustão voluntária   |                                    |                                |           |                                  |
| Lin- $f$ ( $n = 9$ )  | 53,5±3,6 <sup>a</sup>              | 94,5±3,5                       | 0,94±0,02 | 2,0±0,5                          |
| Lin-TB ( $n = 9$ )    | 52,2±3,5 <sup>a</sup>              | 92,3±3,8                       | 1,00±0,00 | 2,2±0,5                          |
| NLinear-2 ( $n = 9$ ) | 50,3±3,6                           | 89,2±4,6                       | 0,95±0,02 | 2,3±0,8                          |
| NLinear-3 ( $n = 6$ ) | 45,2±7,0                           | 80,2±10,1                      | 0,99±0,01 | 4,2±4,2                          |
| EXP ( $n = 3$ )*      | 55,0±10,4                          | 87,9±5,9                       | 0,98±0,01 | 6,4±6,4                          |
| Exaustão técnica      |                                    |                                |           |                                  |
| Lin- $f$ ( $n = 9$ )  | 53,5±3,5 <sup>a</sup>              | 94,5±3,5                       | 0,95±0,02 | 2,0±0,5                          |
| Lin-TB ( $n = 9$ )    | 52,2±3,5 <sup>a</sup>              | 92,3±3,7                       | 1,00±0,00 | 2,3±0,6                          |
| NLinear-2 ( $n = 9$ ) | 50,2±3,5 <sup>a</sup>              | 89,2±4,6                       | 0,95±0,02 | 2,4±0,8                          |
| NLinear-3 ( $n = 7$ ) | 43,2±5,6                           | 78,2±10,1                      | 0,98±0,02 | 4,4±3,8                          |
| EXP ( $n = 3$ )*      | 53,7±9,5                           | 86,1±5,4                       | 0,98±0,02 | 6,4±6,4                          |

Abreviações: Lin- $f$  – modelo linear de frequência crítica entre intensidade pelo inverso do tempo até a exaustão; Lin-TB – modelo linear de frequência crítica entre número total de bolas rebatidas pelo tempo até a exaustão; NLinear-2 – modelo não linear de 2 parâmetros de frequência crítica determinado através da relação hiperbólica entre tempo e intensidade; NLinear-3 – modelo não linear de 2 parâmetros de frequência crítica determinado através da relação entre intensidade e tempo até a exaustão; EXP – modelo exponencial de frequência crítica determinado através da relação exponencial entre intensidade e tempo até a exaustão.

\*Devido a baixa amostragem na estimação da  $fC$  pelo modelo EXP, esse resultado não foi utilizado na análise estatística.

<sup>a</sup>  $P < 0,05$  em relação ao modelo NLinear-3

**Tabela 3.3.** Coeficientes de correlação de *Pearson* obtidos entre as  $fC$  estimadas pelos diferentes modelos matemáticos utilizando os critérios de exaustão voluntária e técnica. Os coeficientes de correlação são apresentados correspondendo a exaustão voluntária(exaustão técnica).

|           | $fC$                                   |                                        |                                        |                                        |
|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|           | Lin- $f$                               | Lin-TB                                 | NLinear-2                              | NLinear-3                              |
| $fC$      |                                        |                                        |                                        |                                        |
| Lin- $f$  | –                                      | 0,99 <sup>a</sup> (0,99 <sup>a</sup> ) | 0,96 <sup>a</sup> (0,96 <sup>a</sup> ) | 0,82 <sup>a</sup> (0,75)               |
| Lin-TB    | 0,99 <sup>a</sup> (0,99 <sup>a</sup> ) | –                                      | 0,98 <sup>a</sup> (0,98 <sup>a</sup> ) | 0,84 <sup>a</sup> (0,77 <sup>a</sup> ) |
| NLinear-2 | 0,96 <sup>a</sup> (0,96 <sup>a</sup> ) | 0,98 <sup>a</sup> (0,98 <sup>a</sup> ) | –                                      | 0,86 <sup>a</sup> (0,77 <sup>a</sup> ) |
| NLinear-3 | 0,82 <sup>a</sup> (0,75)               | 0,84 <sup>a</sup> (0,77 <sup>a</sup> ) | 0,86 <sup>a</sup> (0,77 <sup>a</sup> ) | –                                      |

<sup>a</sup> $P < 0,05$

## DISCUSSÃO

No presente estudo, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos nos cinco modelos matemáticos utilizados para estimar as  $fC$  variaram entre 0,94 a 1,00, independente do critério de exaustão adotado. Entretanto, apesar desses altos valores de  $R^2$  obtidos, a  $fC$  não pode ser estimada para todos os sujeitos do estudo nos modelos NLinear-3 e EXP. A  $fC$  estimada pelo modelo matemático EXP foi apenas estimada com sucesso para três sujeitos, e devido a essa baixa amostragem, esse modelo não foi utilizado na análise estatística do estudo.

No primeiro objetivo do estudo foram investigados a influência do critério de exaustão na obtenção do  $tlim$  e na determinação da  $fC$ ; e também a influência do modelo matemático utilizado para estimar a  $fC$ . O conceito de potência crítica consiste, inicialmente, na relação hiperbólica entre intensidade e tempo até a exaustão (23). Contudo, a adaptação do modelo de PC para o tênis de mesa foi anteriormente aplicado por meio de exercícios realizados até a exaustão técnica (24; 39; 40), e não, por exercícios realizados até a exaustão voluntária, como aplicado em outros ergômetros (5; 6; 8; 16; 18; 26). Assim, erros na determinação do  $tlim$  poderia alterar significativamente as relações matemáticas e, conseqüentemente, ocorrer erros na estimativa da  $fC$ . Nossos resultados mostram que o uso da exaustão técnica como critério de exaustão, identificada por quatro erros consecutivos nas rebatidas, não afeta a estimativa do  $tlim$  e da  $fC$  ( $P > 0.05$ ; tabela 1), independentemente do modelo matemático utilizado, permitindo o uso desse critério de exaustão no teste específico para o tênis de mesa.

Em relação à aplicação dos modelos matemáticos utilizados para estimar a PC, no tênis de mesa, a  $f_C$  foi estimada com sucesso em apenas aproximadamente 33% dos participantes usando o modelo EXP (em ambos os critérios de exaustão). No modelo NLinear-3, a  $f_C$  foi estimada com sucesso em 67% dos participantes usando os  $t_{lim}$  obtidos pela exaustão voluntária e para 78% dos sujeitos usando os  $t_{lim}$  obtidos pela exaustão técnica. Nas sessões de exercício realizadas para determinação da  $f_C$ , a maior intensidade de exercício aplicada ( $68.2 \pm 3.6$  bolas.min<sup>-1</sup>;  $126.7 \pm 2.7\%$  do  $f\dot{V}O_{2PICO}$ ) resultou em  $t_{lim}$  de aproximadamente 130 s. As intensidades de exercício aplicados no teste de  $f_C$  foram ajustadas para resultar em  $t_{lim}$  até aproximadamente 120 s, que é o menor tempo limite recomendado por Poole (28) para estimar a PC. A amplitude do  $t_{lim}$  entre 2 e 10 minutos é considerado a amplitude ideal para estimar a PC por meio dos modelos lineares e hiperbólico (28). Para a determinação da PC por meio dos modelos matemáticos de 3 parâmetros e exponencial, a realização de uma intensidade de exercício maior poderia ser melhor recomendada, possibilitando em maior sucesso na estimativa da  $f_C$  no tênis de mesa. No entanto, em um estudo piloto, nós tentamos aplicar uma sessão de exercício em intensidade superior a 130% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . Porém, os sujeitos foram incapazes de realizar o exercício com sucesso (ideal técnica de rebatida). A  $f_C$  estimada pelo modelo NLinear-3 foi estatisticamente menor que os outros três modelos (Lin- $f$ , Lin-TB and NLinear-2). Essa comparação entre os modelos matemáticos que estimam a potência crítica e velocidade crítica já havia sido investigada por Bull et al. (5), Gaesser et al. (11) e Morton (25). Esses autores verificaram que a estimativa da PC pode variar em até 24% entre os cinco modelos (5). No entanto, o modelo NLinear-3 tem apresentado valores da potência crítica e velocidade crítica significativamente inferior aos outros modelos matemáticos (4-6; 11; 16; 25), semelhantes aos resultados encontrados no presente estudo. Bull et al (6) relataram que a inclusão do parâmetro de intensidade máxima no modelo matemático NLinear-3, resulta em uma menor estimativa da PC e também aumento do erro padrão do ajuste na estimativa da PC (SE), como verificado em nossos resultados. No entanto, todos os modelos matemáticos ajustados com sucesso no tênis de mesa, foram significantemente correlacionados entre si, exceto os modelos Lin- $f$  e NLinear-3 estimados pelo  $t_{lim}$  obtidos pela exaustão técnica (tabela 3).

O segundo objetivo do estudo foi comparar as intensidades de  $f_C$  e  $LAn_{GE}$ , e também, correlacionar as  $f_C$  estimadas com o  $LAn_{GE}$ ,  $f\dot{V}O_{2PICO}$  e  $\dot{V}O_{2PICO}$ . O  $LAn_{GE}$  foi assumido como a intensidade em que ocorreu um aumento de ambos equivalentes ventilatórios de O<sub>2</sub> e



$\text{CO}_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}\text{O}_2$  e  $\dot{V}_E/\dot{V}\text{CO}_2$ ), que corresponde a intensidade em que ocorre uma hiperventilação causada pela acidose excessiva durante o exercício (37). Essa intensidade de aumento de ambos equivalentes ventilatórios também é denominada, por alguns autores, de ponto de compensação respiratório (13; 15; 37) ou segundo limiar ventilatório (8; 21) e é associada a capacidade aeróbia (1; 10; 11; 17; 21; 29). A intensidade de  $\text{LAn}_{\text{GE}}$  não foi estatisticamente diferente das intensidades de  $f\text{C}$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos, além de ser significativamente correlacionada com as intensidades de  $f\text{C}$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  ( $r = 0,76$ ) e Lin-TB ( $r = 0,74$ ). Dekerle et al. (8), em estudo no cicloergômetro, também não encontrou diferença significativa entre a PC e o segundo limiar ventilatório. Mas, essas intensidades foram superiores a intensidade de máxima fase estável de lactato (8). Gaesser et al. (11) também encontraram significativas correlações entre o limiar ventilatório 2 e as PC estimadas pelos cinco modelos matemáticos no cicloergômetro (coeficientes de correlação entre 0,69 e 0,91), mas, o limiar ventilatório foi estatisticamente inferior que as intensidades de PC estimadas pelos outros modelos matemáticos, com exceção para o modelo de 3-parâmetros. Nakamura et al. (26), recentemente, também encontraram significativa correlação entre a potência crítica e o limiar ventilatório 2 no cicloergômetro ( $r = 0,86$ ).

Outras importantes correlações foram encontradas entre a  $f\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  e as intensidades de  $f\text{C}$  estimadas pelos modelos Lin- $f$  ( $r = 0,83$ ), Lin-TB ( $r = 0,79$ ) e NLinear-2 ( $r = 0,70$ ). A intensidade associada ao  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  é considerada um bom índice de endurance (3) e tem sido associada à potência máxima aeróbia e a economia de movimento (7).

Esses atuais resultados, associados aos resultados obtidos por Zagatto et al. (40) e Morel e Zagatto (24), comprovam a aceitação da  $f\text{C}$  como um bom índice de predição da capacidade aeróbia em teste específico para o tênis de mesa.

Em relação ao  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$ , não foi verificada correlação significativa entre o  $\dot{V}\text{O}_{2\text{PICO}}$  e as  $f\text{C}$  estimadas pelos diferentes modelos matemáticos. A aplicação do teste incremental máximo para os esportes com raquetes usando um lançador de bolas mecânico como ergômetro, parece possuir uma limitação na obtenção do esforço máximo. No teste incremental, a frequência de disparo de bolas pode alcançar um valor tão elevado, que é impossível a realização de rebatidas com ideal técnica e, desse modo, a mensuração da máxima resposta fisiológica não seria verificada. Essa não obtenção da resposta máxima fisiológica em teste incremental específico também foi verificada por Smekal et al. (31) no tênis, em que observou

valores de  $\dot{V}O_{2PICO}$  significativamente inferior no teste específico em comparação com o resultado obtido em esteira. Uma provável explicação seria a fadiga neuromuscular precoce ocorrida pelos repetidos exercícios de alta intensidade realizados no teste específico, que é freqüentemente observado nos esportes com raquetes (14), limitando a obtenção do consumo máximo de oxigênio.

O tênis de mesa é um esporte altamente complexo, que envolve uma combinação de habilidade técnica, aptidão física e fatores psicológicos e fisiológicos (20; 33). Assim, a análise apenas de rebatidas de *forehand* é uma limitação do estudo. No entanto, a aplicação do teste específico através de esforços apenas de *forehand* foi um procedimento útil, que resultou em exercício aplicado de modo sistemático e de intensidade progressiva, respeitando a especificidade do tênis de mesa. Alguns estudos têm mensurado a aptidão aeróbia (ambos potência aeróbia e capacidade aeróbia) nos esportes com raquetes por meio de simulações de movimentos realizados na quadra de jogo (corridas de vai e vem), e não realizando efetivamente rebatidas (13; 15; 38). Com os resultados do presente estudo, a  $fC$  parece permitir a predição da capacidade aeróbia por meio de um procedimento de fácil aplicação, não invasivo e executado com os mesmo padrões motores realizados no tênis de mesa, respeitando a especificidade do esporte e aumento a validade ecológica do teste.

## CONCLUSÃO

O modelo de potência crítica adaptado para o tênis de mesa não foi influenciado pelo critério de exaustão (exaustão técnica ou voluntária); o modelo EXP não parece ser um bom procedimento a ser aplicado no tênis de mesa; e a  $fC$  estimada pelo modelo NLinear-3 foi significativamente inferior as  $fC$  estimadas pelos outros modelos matemáticos. Finalmente, as  $fC$  estimadas pelos modelos lineares e hiperbólico foi significativamente correlacionadas com a  $\dot{V}O_{2PICO}$  e também com a intensidade de limiar anaeróbio de trocas gasosas, possibilitando o uso da  $fC$  para estimar a capacidade aeróbia em teste específico para o tênis de mesa.

## REFERÊNCIAS

1. Aunola S and Rusko H. Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci* 10: 309-323, 1992.
2. Billat LV and Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 22: 90-108, 1996.
3. Billat VL, Mille-Hamard L, Demarle A and Koralsztein JP. Effect of training in humans on off- and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting intensity runs. *Eur J Appl Physiol* 87: 496-505, 2002.
4. Billat VL, Morton RH, Blondel N, Berthoin S, Bocquet V, Koralsztein JP and Barstow TJ. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 82: 178-187, 2000.
5. Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO and Perry SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med Sci Sports Exerc* 32: 526-530, 2000.
6. Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO and Rana SR. Physiological responses at five estimates of critical velocity. *Eur J Appl Physiol* 102: 711-720, 2008.
7. Daniels J and Daniels N. Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc* 24: 483-489, 1992.
8. Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J and Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 89: 281-288, 2003.
9. Dekerle J, Sidney M, Hespel JM and Pelayo P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med* 23: 93-98, 2002.
10. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Rocker K, Mayer F, Heitkamp HC and Horstmann T. Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 20: 122-127, 1999.

11. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO and Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1430-1438, 1995.
12. Gaesser GA and Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 24: 35-71, 1996.
13. Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP and Millet GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *Br J Sports Med* 40: 791-796, 2006.
14. Girard O and Millet GP. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Neurol Clin* 26: 181-194, 2008.
15. Girard O, Sciberras P, Habrard M, Hot P, Chevalier R and Millet GP. Specific incremental test in elite squash players. *Br J Sports Med* 39: 921-926, 2005.
16. Housh TJ, Cramer JT, Bull AJ, Johnson GO and Housh DJ. The effect of mathematical modeling on critical velocity. *Eur J Appl Physiol* 84: 469-475, 2001.
17. Impellizzeri FM, Marcora SM, Rampinini E, Mognoni P and Sassi A. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med* 39: 747-751, 2005.
18. Jenkins DG and Quigley BM. Endurance training enhances critical power. *Med Sci Sports Exerc* 24: 1283-1289, 1992.
19. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P and van KG. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 6: 197-201, 1985.
20. Lees A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 21: 707-732, 2003.
21. McLellan TM. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. *Int J Sports Med* 6: 30-35, 1985.

22. Meyer T, Lucia A, Earnest CP and Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med* 26 Suppl 1: S38-S48, 2005.
23. Monod H and Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 8: 329-338, 1965.
24. Morel EA and Zagatto AM. Adaptation of lactate minimum test, critical power and anaerobic threshold to measure the aerobic/anaerobic transition in specific tests for table tennis. *Rev Bras Med Esporte* 14: 518-522, 2008.
25. Morton RH. A 3-parameter critical power model. *Ergonomics* 39: 611-619, 1996.
26. Nakamura FY, Okuno NM, Perandini LAB, de Oliveira FR, Buchheit M and Simoes HG. Perceived exertion threshold: Comparison with ventilatory thresholds and critical power. *Science & Sports* 24: 196-201, 2009.
27. Pereira G, de Freitas PB, Rodacki A, Ugrinowitsch C, Fowler N and Kokubun E. Evaluation of an innovative critical power model in intermittent vertical jump. *Int J Sports Med* 30: 802-807, 2009.
28. Poole DC. Letter to the editor-in-chief. *Med Sci Sports Exerc* 18: 703-705, 1986.
29. Ribeiro JP, Hughes V, Fielding RA, Holden W, Evans W and Knuttgen HG. Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55: 215-221, 1986.
30. Ribeiro LF, Lima MC and Gobatto CA. Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *J Sci Med Sport* 13: 141-145, 2010.
31. Smekal G, Pokan R, Von Duvillard SP, Baron R, Tschann H and Bachl N. Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Int J Sports Med* 21: 242-249, 2000.
32. Smith CG and Jones AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol* 85: 19-26, 2001.

33. Toriola AL, Toriola OM and Igbokwe NU. Validity of specific motor skills in predicting table-tennis performance in novice players. *Percept Mot Skills* 98: 584-586, 2004.
34. Toubekis AG, Tsami AP and Tokmakidis SP. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med* 27: 117-123, 2006.
35. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y and Miyashita M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 64: 153-157, 1992.
36. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani T, Mutoh Y and Miyashita M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 66: 90-95, 1993.
37. Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN and Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35: 236-243, 1973.
38. Wilkinson M, Leedale-Brown D and Winter EM. Validity of a squash-specific fitness test. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 29-40, 2009.
39. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Anaerobic capacity may not be determined by critical power model in elite table tennis players. *J Sports Sci Med* 7: 54-59, 2008.
40. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sports Sci Med* 7: 461-466, 2008.

#### 4.4. Artigo referente ao Experimento 4

### **CAPACIDADE ANAERÓBIA ESTIMADA UTILIZANDO QUATRO MODELOS DE POTÊNCIA CRÍTICA EM TESTE ESPECÍFICO PARA O TÊNIS DE MESA**

## ABSTRACT

The curvature constant parameter ( $W'$ ) of the critical power model hyperbolic intensity–time relationship has been described by some authors as anaerobic work capacity (AWC). The main studies that accept  $W'$  as AWC were performed on a cycloergometer; however in other ergometers and sports including table tennis, acceptance of  $W'$  as AWC is very controversial. Therefore the aims of this study were: i) to verify any differences between  $W'$  estimated from four different critical power mathematical models in a specific table tennis test ( $Cf$ ); ii) to correlate each estimated  $W'$  with maximal accumulated oxygen deficit (MAOD); iii) to correlate each  $W'$  with total anaerobic work ( $W_{ANAER}$ ) measured in each exercise spell of the  $Cf$  test. Nine national level male table tennis players ( $18 \pm 1$  years) participated in the study. Tests included MAOD and the  $Cf$  test for estimating  $W'$  from four mathematical models, both applied in a specific table tennis test using a ball throwing machine. MAOD was  $71.7 \pm 9.5$  mL.kg<sup>-1</sup> and  $W'$  values were  $32.8 \pm 6.6$  balls for the linear–frequency model,  $38.3 \pm 6.9$  balls for linear–total balls model,  $48.7 \pm 8.9$  balls for Nonlinear–2 parameter model, and  $165.2 \pm 78.6$  balls for Nonlinear–3 parameter model. Estimated  $W'$  from the Nonlinear 2-parameter model was significantly different to  $W'$  from the 3-parameter ( $P < 0.05$ ). Also all  $W'$  values were not significantly correlated with MAOD and  $W_{ANAER}$ . In conclusion, estimated  $W'$  from the four mathematical models did not correlate with MAOD or  $W_{ANAER}$  in specific table tennis tests.

**Key Words:** Anaerobic work capacity, specific test, anaerobic procedure, table tennis, critical frequency, oxygen uptake.



## INTRODUÇÃO

O Tênis de mesa é um esporte altamente complexo, que requer uma combinação de fatores psicológicos, fisiológicos, habilidade técnica (motora) e aptidão física (22; 31). O resultado no jogo envolve uma integração desses fatores. Mas, mensurar a participação específica de cada um desses fatores é muito difícil. Desse modo, cada fator tem sido investigado individualmente.

Em uma perspectiva fisiológica, o tênis de mesa é composto por exercícios intermitentes, com esforços repetitivos de alta intensidade em movimentos rápidos e poderosos de membros inferiores e superiores (32). Assim, o suprimento energético nestes períodos de esforços é fornecido pelos sistemas anaeróbios de energia (32) e, por isso, a mensuração desse componente energético é muito importante.

O sistema anaeróbio tem sido estimado, principalmente, por meio do déficit máximo de oxigênio acumulado (MAOD) (17; 23), que é considerado como o teste “padrão ouro” para a mensuração da capacidade anaeróbia; e por meio do teste de Wingate (aplicado principalmente no cicloergômetro e no ergômetro de braço), que é considerado um bom procedimento de mensuração da potência anaeróbia (1; 13). Entretanto, apesar da alta aceitação científica destes procedimentos, eles possuem limitações em relação à aplicação prática na rotina do treinamento esportivo. Para a aplicação do MAOD, é necessário um grande número de visitas ao laboratório, para a realização de exercícios em intensidades submáximas e máxima, necessitando, ainda, de um analisador de gases para a mensuração do consumo de oxigênio durante os esforços, que é um equipamento de alto custo financeiro. Já no teste de Wingate, que é geralmente aplicado no cicloergômetro ou ergômetro de braço, os esforços realizados nesses ergômetros não podem reproduzir os mesmos padrões motores executados nos esportes em geral, como o tênis de mesa e outros.

O parâmetro correspondente à curvatura constante da relação hiperbólica potência-tempo ( $W'$ ) do modelo de potência crítica (PC) (27) tem sido descrito como um método alternativo capaz de estimar a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) (15; 17; 18; 26). O uso da  $W'$  como CTA é suportada pelas significantes correlações obtidas entre a  $W'$  com o MAOD (17; 18; 26) e o trabalho total realizado durante o teste de Wingate (29). Teoricamente, a  $W'$  corresponde a um finito suprimento de energia, constituído

principalmente por estoques intramusculares de fosfato de alta energia, glicogênio e oxigênio ligado a mioglobina (5; 16; 25).

Para a estimação do parâmetro  $W'$ , quatro modelos matemáticos, lineares e não lineares, são descritos na literatura (3; 6; 7; 10; 11; 17; 18; 25). Contudo, apesar de Hill e Smith (18) terem relatado que em teoria, a escolha do modelo matemático não deveria modificar a estimativa da  $W'$ , na prática, o modelo de relação linear trabalho–tempo e o modelo hiperbólico potência–tempo são os modelos matemáticos mais correlacionados com outros testes anaeróbios (10; 17; 29).

Em contraste à aceitação da  $W'$  como uma CTA, as principais investigações que encontraram significantes correlações entre a  $W'$  e outros testes anaeróbios foram em estudos realizados principalmente no cicloergômetro, enquanto que estudos realizados em outros padrões de exercícios, como na corrida, na natação e no tênis de mesa, não suportam essa aceitação da  $W'$  como uma CTA (8; 11; 33).

Aos nossos conhecimentos, poucos estudos estimaram o sistema anaeróbio em mesatenistas (28; 33; 34), sendo que a  $W'$  foi o parâmetro mais aplicado em teste específico para esse esporte na tentativa de estimar o componente anaeróbio (28; 33; 34). Porém, Zagatto, Papoti e Gobatto (33) não encontraram significantes correlações entre a  $W'$  estimada em teste específico e as variáveis do teste Wingate, relatando que a  $W'$  não parece ser um bom índice para estimar a capacidade anaeróbia em mesatenistas. Contudo, as grandes limitações desse estudo foram comparar a  $W'$  estimada em teste específico com testes de Wingate aplicados no cicloergômetro e no ergômetro de braço; e também comparar a  $W'$  com o teste de Wingate, que estima a potência anaeróbia e não a capacidade anaeróbia, sendo que a potência anaeróbia não indica capacidade anaeróbia (24).

O uso da  $W'$  para estimar a capacidade anaeróbia em teste específico para o tênis de mesa seria muito interessante, porque é um procedimento de fácil aplicação, baixo custo, não invasivo e que reproduz os mesmos padrões motores efetuados no esporte, aumentando a validade ecológica do teste e possibilitando a sua aplicação na rotina de treinamento dos atletas. Entretanto, para o uso da  $W'$  como um procedimento que estima a CTA no tênis de mesa é necessário, previamente, a correlação da  $W'$  com o MAOD, ambos aplicados em teste específico. Desse modo, os objetivos desse estudo foram: i) verificar se existem diferenças nas determinações da  $W'$  estimada pelos quatro modelos matemáticos encontrados na

literatura; ii) correlacionar cada  $W'$  estimada com o déficit máximo de oxigênio acumulado, ambos mensurados em teste específico para o tênis de mesa; e iii) estimar a quantidade total de trabalho anaeróbio em cada sessão de exercício no teste de frequência crítica e correlacionar esses valores com as  $W'$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos.

## MÉTODOS

### Participantes

Nove mesatenistas do sexo masculino ( $18 \pm 1$  anos;  $62,3 \pm 4,4$  kg; e  $172,1 \pm 2,9$  cm de altura) participaram do estudo. Todos os sujeitos tinham pelo menos quatro anos de treinamento regular e sistemático, e possuíam nível de performance nacional no tênis de mesa. Os participantes foram familiarizados com os procedimentos e equipamentos antes da aplicação dos testes. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Paulista. Antes do início do estudo, os atletas e seus pais ou responsáveis, quando pertinente, foram instruídos dos riscos e benefícios do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

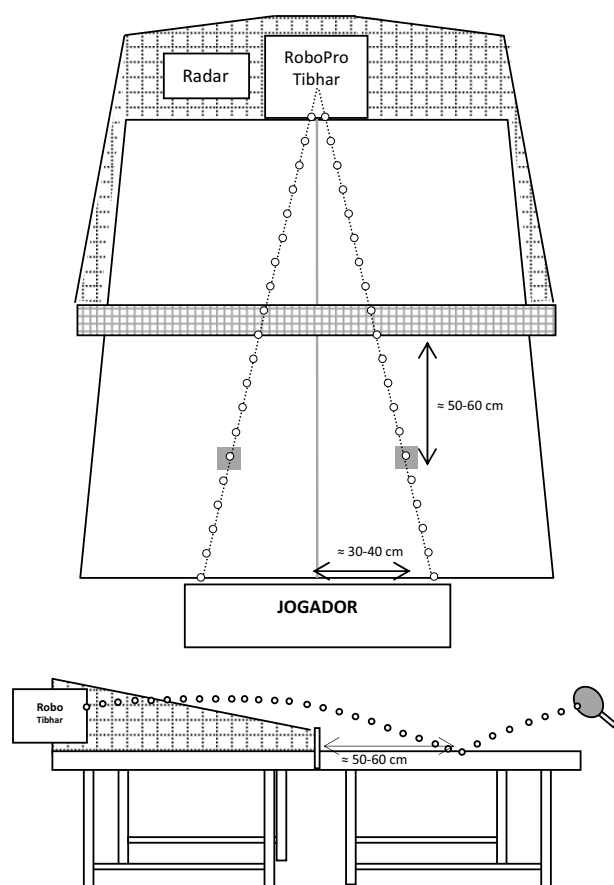
### Procedimentos experimentais

Todos os procedimentos foram aplicados em um período de duas semanas para realizações do déficit máximo de oxigênio acumulado (MAOD) e do teste de potência crítica adaptado para o tênis de mesa e chamado de frequência crítica ( $f_C$ ). Entre cada sessão de exercício, um intervalo mínimo de 24 horas foi respeitado. Os testes específicos foram aplicados na mesa de tênis de mesa, simulando ataques (rebatidas) de *forehand* em bolas disparadas por um lançador de bolas mecânico roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha). Durante os testes de MAOD e  $f_C$ , o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) foi mensurado a cada ciclo de três respirações por um analisador de gases portátil (MedGraphics VO2000, Medical Graphics Corp., St. Paul, MN, EUA). No teste de  $f_C$ , o  $\dot{V}O_2$  foi mensurado durante todo o teste, iniciando em repouso (duração de 10 minutos) até, aproximadamente, 5 minutos após o término do teste, para a determinação do consumo excessivo de oxigênio após o teste (EPOC). O analisador de gases foi calibrado sempre antes de cada teste seguindo as

recomendações do fabricante. Em todos os testes, amostras de sangue (25 $\mu$ L) foram coletadas do lóbulo da orelha aos 3, 5 e 7 minutos após o término do teste, para mensuração da concentração de lactato ([La]). As amostras de sangue foram analisadas em um lactímetro eletroquímico *YSI 1500 SPORT* (YSI, Yellow Springs, OH, EUA). Em todos os testes, um forte estímulo verbal foi efetuado para motivar a realização de um esforço máximo.

### **Ajuste do lançador de bolas mecânico roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) no teste específico**

O roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) possui ajustes de frequência de disparo de bolas (intensidade), no controle do equipamento, que variam da unidade arbitrária de 1 a 9, sendo que a alteração de uma unidade arbitrária resulta em mudança de aproximadamente 10 bolas $\cdot$ min<sup>-1</sup> na frequência de lançamento de bolas ( $f$ ). Como a mudança de apenas 1 unidade arbitrária no controle original do equipamento resulta em uma grande variação na  $f$ , um novo controle foi construído, o qual possibilitou o ajuste da  $f$  com sensibilidade de 1 bola $\cdot$ min<sup>-1</sup>. O roboPro plus (Tibhar, Alemanha) possui, além do ajuste da  $f$ , ajustes de velocidade e oscilação lateral de lançamento. A velocidade e a oscilação lateral foram mantidas constantes durante todos os testes e foram correspondentes à unidade arbitrária 4 (aproximadamente 35 km.h<sup>-1</sup>) e à unidade arbitrária 5, respectivamente, conforme especificação do equipamento. O lançamento da bola foi realizado em dois locais da mesa, em amplitude máxima do equipamento, que correspondeu a lançamentos de aproximadamente 30 a 40 cm lateralmente à linha central da mesa, e o quique da bola ajustado para ocorrer entre 50 a 60 cm à frente da rede, para simular a resposta de um adversário no jogo de tênis de mesa (28). Um esquema representativo é apresentado na figura 1. Apenas a frequência de disparo de bola (intensidade de exercício) foi modificada nos testes e foi controlada pela frequência real de disparo.



**Figura 5.1.** Esquema representativo dos ajustes efetuados no roboPro plus Tibhar (Tibhar, Alemanha) para a aplicação do teste específico.

### Determinação do MAOD

Inicialmente, um teste incremental máximo foi realizado para a determinação do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) e a intensidade (frequência) associada com o  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $f\dot{V}O_{2PICO}$ ) (21). O teste incremental consistiu em frequência de disparo de bola inicial de 30 bola.min<sup>-1</sup>, que foi aumentada em 4 bola.min<sup>-1</sup> a cada 2 minutos de exercício. O exercício foi realizado até a exaustão voluntária do participante. O  $\dot{V}O_{2PICO}$  foi considerado como a maior média do  $\dot{V}O_2$  durante os últimos 30 segundos do estágio. Após o teste incremental, quatro exercícios submáximos com duração de 7 minutos foram realizados em intensidades

correspondentes a aproximadamente 50, 60, 70 e 80% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . O  $\dot{V}O_2$  foi mensurado continuamente, como descrito anteriormente e, a média do  $\dot{V}O_2$  entre os minutos 6 e 7 foi considerada como a demanda de  $\dot{V}O_2$  para a respectiva intensidade. Posteriormente à execução dos exercícios submáximos, uma regressão linear foi realizada entre as demandas de  $\dot{V}O_2$  e as respectivas intensidades, com o y-intercepto fixado em  $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (23). A regressão linear foi, então, extrapolada para estimação da demanda de oxigênio para a intensidade correspondente a 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . Finalmente, um exercício supramáximo exaustivo foi aplicado com intensidade de 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$  para a mensuração do  $\dot{V}O_2$  real nessa intensidade e do tempo de exercício até a exaustão ( $t_{lim}$ ). O MAOD foi calculado por meio da subtração entre a área total da demanda de  $\dot{V}O_2$  teórica para a intensidade de 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$  (produto do  $\dot{V}O_2$  teórico pelo tempo até a exaustão) pela área do real consumo de oxigênio calculada pelo método trapezoidal.

### Teste de frequência crítica para estimação da $W'$

Os atletas foram submetidos entre três a quatro sessões de exercícios realizadas até a exaustão, em intensidades entre 95% e 130% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . As intensidades de exercício foram previamente ajustadas para ocorrer a exaustão entre 2 e 10 minutos (33; 34). O tempo de exercício até a exaustão ( $t_{lim}$ ) foi cronometrado em cada sessão de exercício.

#### Modelos matemáticos de estimação da $W'$

Quatro modelos matemáticos usados para estimar a potência crítica no ciclismo e corrida foram usados para estimar a  $W'$  no tênis de mesa, onde:  $t_{lim}$  = tempo até a exaustão;  $f$  = frequência de disparo de bola; TB = total de bolas disparadas ( $t_{lim} \cdot f$ );  $f_{MAX}$  = intensidade de máximo esforço;  $W'$  = curvatura constante;  $f_C$  = intensidade de frequência crítica.

Os quatro modelos matemáticos utilizados são descritos abaixo:

Primeiro, o modelo linear de frequência foi baseado na regressão linear entre a  $f$  versus o inverso do  $t_{lim}$  ( $t_{lim}^{-1}$ ) (Linear- $f$ ) (28; 33; 34) (Eq. 1)

$$f = (W' \times t_{lim}^{-1}) + fC. \quad (\text{Linear-}f) \text{ (Eq. 1)}$$

Um segundo modelo matemático equivalente foi baseado na relação linear entre o total de bolas disparadas pelo tempo (Linear-TB) (Eq. 2).

$$TB = (fC \times t_{lim}) + W' \quad (\text{Lin-TB}) \text{ (Eq. 2)}$$

Um terceiro modelo matemático equivalente, mas não linear, foi usado para estimar a  $W'$ . Este modelo foi baseado na relação hiperbólica entre  $f$  e  $t_{lim}$  e denominado modelo não linear de 2 parâmetros (Nlinear-2) (Eq. 3).

$$t_{lim} = W' / (f - fC) \quad (\text{Nlinear-2}) \text{ (Eq. 3)}$$

Um quarto modelo matemático, também não linear, que inclui o parâmetro de intensidade de máximo esforço ( $f_{MAX}$ ) também foi utilizado. Este modelo não linear é chamado de modelo de 3 parâmetros (Nlinear-3) (Eq. 4).

$$t_{lim} = [W' / (f - fC)] - [W' / (f_{MAX} - fC)] \quad (\text{Nlinear-3}) \text{ (Eq. 4)}$$

As contribuições energéticas dos sistemas aeróbio ( $W_{AER}$ ), anaeróbio alático ( $W_{PCR}$ ) e anaeróbio láctico ( $W_{[La]}$ ) foram estimados em cada sessão de exercício aplicado no teste de frequência crítica. A contribuição energética aeróbia ( $W_{AER}$ ) foi estimada pela subtração da área de  $\dot{V}O_2$  de repouso pela integral da área do  $\dot{V}O_2$  sobre o tempo até a exaustão, calculada pelo método trapezoidal. A  $W_{PCR}$  foi considerada pelo componente rápido da cinética do EPOC analisado pelo modelo monoexponencial (Eq. 5) usando o programa OriginPro 8.0 (OriginLab Corporation, Microcal, Massachusetts, EUA) e foi calculada pelo produto da amplitude pela constante de tempo  $\tau$  (Eq. 6) (2; 4; 9). Finalmente, a  $W_{[La]}$  foi estimada pela subtração do lactato sanguíneo obtida após o exercício pelo lactato de repouso, considerando um valor de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de lactato ser o equivalente a  $3 \text{ ml O}_2 \text{ kg}^{-1}$  (4; 9; 12). Para todos os três sistemas energéticos, foi assumido um equivalente calórico de  $20,9 \text{ kJ L O}_2^{-1}$ , como descrito por de Campos et al. (9) e Bertuzzi et al. (4). A quantidade de trabalho anaeróbio total ( $W_{ANAER}$ ) correspondeu à soma dos trabalhos  $W_{[La]}$  e  $W_{PCR}$ .

$$\dot{V}O_{2(t)} = \dot{V}O_{2\text{repouso}} + A[e^{-(t/\tau)}] \quad (\text{Eq. 5})$$

$$W_{\text{PCR}} = A \cdot \tau \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde  $\dot{V}O_{2(t)}$  é o consumo de oxigênio no tempo,  $\dot{V}O_{2\text{repouso}}$  é o consumo de oxigênio de repouso,  $A$  corresponde à amplitude e  $\tau$  a constante de tempo.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados estatisticamente utilizando o programa *Statistica 7.0* (*Statsoft*, Tulsa, EUA). Os resultados são apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média (EPM). Inicialmente, a normalidade das variáveis foi analisada pelo teste de *Shapiro–Wilk*. As  $W'$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos, as  $[La]$  e as contribuições energéticas obtidas nas sessões de esforços no teste de frequência crítica foram comparadas usando o teste de análise de variância *One-way* para medidas repetidas, com o *post hoc* de *Newman-Keuls* se necessário. O teste de correlação produto momento de *Pearson* foi usado para as correlações entre as  $W'$  estimadas com o MAOD e o trabalho anaeróbio obtidos em cada sessão de exercício do teste de frequência crítica. Em todos os casos foi assumido um nível de significância de  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

Os resultados do consumo pico de oxigênio, intensidade associada ao  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ , tempo até a exaustão na intensidade de 120% da  $f\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  e MAOD, expresso em unidade absoluta e relativa ao peso corporal, são apresentados na tabela 1.



**Tabela 4.1.** Resultados do consumo pico de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), intensidade associada ao  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $f\dot{V}O_{2PICO}$ ), tempo até a exaustão na intensidade correspondente a 120% do  $f\dot{V}O_{2PICO}$  ( $t_{lim}$ ) e MAOD expresso em unidade absoluta e relativa à massa corporal. Os resultados são apresentados em média±erro padrão da média(EPM) e amplitude.

|                                                              | Média±EPM  | Amplitude      |
|--------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| $\dot{V}O_{2PICO}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) | 49,85±1,51 | 44,23 – 57,21  |
| $f\dot{V}O_{2PICO}$ (bolas.min <sup>-1</sup> )               | 56,74±3,42 | 42,40 – 74,57  |
| $t_{lim}$ em 120% da $f\dot{V}O_{2PICO}$ (min)               | 4,83±0,44  | 2,07 – 6,5     |
| MAOD (ml.kg <sup>-1</sup> )                                  | 71,66±9,49 | 19,98 – 105,47 |
| MAOD (L)                                                     | 4,23±0,51  | 1,86 – 5,87    |

Os exercícios realizados no teste de frequência crítica foram agrupados em quatro grupos de exercícios conforme as  $f\dot{V}O_{2PICO}$  obtidas. A tabela 2 mostra os resultados das intensidades aplicadas no teste, tempo até a exaustão e contribuição energética em cada sessão de exercício no teste de frequência crítica. Diferenças significativas foram obtidas entre as sessões de exercício para a  $W_{AER}$ ,  $W_{PCR}$  e  $W_{[La]}$ . As  $W'$  estimadas pelos quatro modelos matemáticos, os coeficientes de determinação dos ajustes, as amplitudes e os erros padrões da determinação da  $W'$  (SE) são apresentados na tabela 3. A  $W'$  não pode ser estimada para três sujeitos no modelo Nlinear-3. Na comparação entre os modelos de determinação da  $W'$ , apenas a  $W'$  estimada pelo modelo Nlinear-2 foi significativamente inferior que a  $W'$  estimada pelo modelo Nlinear-3 ( $P < 0,05$ ;  $F = 3,33$ ). Correlações significativas foram também obtidas entre as  $W'$  estimadas pelos diversos modelos matemáticos (0,82 – 0,97), com exceção para a correlação entre as  $W'$  estimada pelos modelos Nlinear-3 e linear- $f$  ( $r = 0,81$ ;  $P = 0,051$ ).

Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre as  $W'$  estimadas com o MAOD e  $t_{lim}$  na intensidade de 120% da  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . Esses coeficientes de correlação produto momento de Pearson são apresentados na tabela 4. As  $W'$  estimadas também não foram correlacionadas com o trabalho do  $W_{PCR}$ ,  $W_{[La]}$  e  $W_{ANAER}$ .

**Tabela 4.2.** Resultados do tempo de exercício até a exaustão ( $t_{lim}$ ), lactato sanguíneo ( $[La]$ ) e o trabalho mensurado em cada sistema energético obtidos em cada sessão de exercício realizada no teste de frequência crítica para estimar a  $W'$ .

|                                        | Sessão 1<br>( $n = 6$ ) | Sessão 2<br>( $n = 9$ ) | Sessão 3<br>( $n = 9$ ) | Sessão 4<br>( $n = 5$ )   |
|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Intensidade (bolas.min <sup>-1</sup> ) | 57,7±4,6                | 60,6±3,7                | 66,2±4,2                | 68,2±3,6                  |
| $f$ relativa a $f\dot{V}O_{2PICO}$ (%) | 95,9±3,1                | 107,0±2,2               | 116,7±1,9               | 126,7±2,7                 |
| $t_{lim}$ (s)                          | 481,3±76,2              | 300,5±26,7              | 180,2±30,9              | 131,4±22,9                |
| $[La]$ (mmol.L <sup>-1</sup> )         | 6,0±0,5                 | 7,4±0,9                 | 7,4±0,8                 | 5,5±0,4                   |
| $W_{AER}$ (kj)                         | 347,7±46,7              | 231,9±19,5 <sup>a</sup> | 146,8±30,8 <sup>a</sup> | 98,7±18,5 <sup>a,b</sup>  |
| $W_{PCR}$ (kj)                         | 53,4±3,4                | 56,0±4,6                | 59,7±6,6                | 53,0±4,7                  |
| $W_{[La]}$ (kj)                        | 22,1±4,7                | 27,0±4,7                | 24,2±3,1                | 18,1±2,1                  |
| $W_{total}$ (kj)                       | 423,2±45,3              | 314,9±16,5 <sup>a</sup> | 230,7±31,1 <sup>a</sup> | 169,8±22,0 <sup>a,b</sup> |
| $W_{ANAER}$ (kj)                       | 75,5±7,8                | 83,0±8,7                | 83,9±8,4                | 71,1±5,3                  |
| $W_{AER}$ (%)                          | 81,1±2,6                | 72,9±3,6                | 58,0±7,2 <sup>a,b</sup> | 56,2±4,6 <sup>a,b</sup>   |
| $W_{PCR}$ (%)                          | 13,4±1,6                | 18,1±1,9                | 30,6±5,9 <sup>a</sup>   | 32,7±3,9 <sup>a</sup>     |
| $W_{[La]}$ (%)                         | 5,6±1,2                 | 8,9±1,8                 | 11,4±1,6                | 11,1±1,4                  |
| $W_{ANAER}$ (%)                        | 18,9±2,6                | 27,1±3,6                | 42,0±7,2 <sup>a</sup>   | 43,8±4,6 <sup>a</sup>     |

Abreviações:  $f$  – frequência de disparo de bolas;  $f\dot{V}O_{2PICO}$  – menor intensidade onde o consumo pico de oxigênio foi alcançado;  $t_{lim}$  – tempo de esforço até a exaustão;  $[La]$  – concentração de lactato sanguíneo;  $W_{AER}$  – trabalho realizado através do sistema aeróbio;  $W_{PCR}$  – trabalho realizado através do sistema anaeróbio alático,  $W_{[La]}$  – trabalho realizado através do sistema anaeróbio láctico;  $W_{total}$  – trabalho total realizado;  $W_{ANAER}$  – trabalho anaeróbio total

<sup>a</sup> $P < 0,05$  em relação a sessão 1; <sup>b</sup> $P < 0,05$  em relação a sessão 2.

**Tabela 4.3.** Resultados das  $W'$  estimadas pelos quatro modelos matemáticos e as respectivas amplitudes, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erros padrão da determinação da  $W'$  (SE). Os resultados são expressos em média±EPM.

| Modelos           | $W'$<br>(bolas) | Amplitude<br>(bolas) | $R^2$     | SE<br>(bolas) |
|-------------------|-----------------|----------------------|-----------|---------------|
| Linear- $f$ (n=9) | 32,8±6,6        | 11,7 – 59,7          | 0,94±0,02 | 6,3±1,7       |
| Linear-TB (n=9)   | 38,3±6,9        | 12,9 – 64,3          | 1,00±0,00 | 11,6±3,2      |
| Nlinear-2 (n=9)   | 48,7±8,9        | 12,8 – 90,8          | 0,95±0,02 | 14,4±4,5      |
| Nlinear-3 (n=6)   | 165,2±78,6*     | 12,8 – 521,8         | 0,99±0,01 | 85,6±85,6     |

\* $P < 0,05$  em relação ao modelo Nlinear-2.

**Tabela 4.4.** Coeficientes de correlação produto momento de *Pearson* entre todas as  $\dot{W}$  estimadas com o MAOD e o  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  na intensidade de 120% da  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ .

| Modelos         | MAOD       |                     | $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$ em 120% |
|-----------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
|                 | L          | ml.kg <sup>-1</sup> |                                   |
| Linear-f (n=9)  | $r = 0,16$ | $r = 0,16$          | $r = 0,51$                        |
| Linear-TB (n=9) | $r = 0,15$ | $r = 0,21$          | $r = 0,50$                        |
| Nlinear-2 (n=9) | $r = 0,06$ | $r = 0,16$          | $r = 0,46$                        |
| Nlinear-3 (n=6) | $r = 0,48$ | $r = 0,58$          | $r = 0,77$                        |

\* $P < 0,05$ .

## DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo indicam que, inicialmente, os quatro modelos matemáticos utilizados foram satisfatoriamente ajustados ao teste específico para o tênis de mesa, quando interpretados pelos coeficientes de determinação obtidos nos modelos (amplitude entre 0,94 – 1,00). Contudo, o modelo Nlinear-3 não pareceu ser um bom procedimento para estimar a  $\dot{W}$  no tênis de mesa, apresentando um percentual de sucesso na estimação da  $\dot{W}$  de apenas 66%, enquanto que os outros modelos apresentaram 100% de sucesso.

Apesar do modelo de potência crítica ser um interessante procedimento, que em teoria, é capaz de estimar em um mesmo teste a capacidade aeróbia e a capacidade anaeróbia, alguns trabalhos não têm encontrado correlações significativas entre a  $\dot{W}$  e o MAOD (3; 19), não aceitando a hipótese que a  $\dot{W}$  é capaz de estimar a capacidade anaeróbia. No tênis de mesa, Zagatto, Papoti e Gobatto (33) não encontraram correlações significativas entre a  $\dot{W}$  e as variáveis de testes de Wingate no cicloergômetro e no ergômetro de braço. Entretanto, como mencionado anteriormente, esse estudo apresentou limitações devido ao padrão motor dos exercícios realizados nos diferentes ergômetros (ex., teste específico, cicloergômetro e ergômetro de braço) e também em relação aos testes usados (capacidade anaeróbia versus potência anaeróbia). No presente estudo, a  $\dot{W}$  foi estimada por quatro diferentes modelos matemáticos encontrados na literatura, e mesmo assim, não foram encontradas correlações significativas da  $\dot{W}$  com o MAOD e o  $\dot{W}_{\text{ANAER}}$ . Nossos atuais resultados, não suportam o uso

da  $W'$  como um bom procedimento para estimar a CTA em teste específico para o tênis de mesa, corroborando com o mencionado por Zagatto, Papoti e Gobatto (33) também no tênis de mesa e com Berthoin et al. (3) e Housh et al. (19) na corrida. A falta de correlação significativa entre a  $W'$  e o MAOD pode ter duas possíveis explicações.

Primeiro, por teoria, a  $W'$  é considerada como uma reserva anaeróbia intramuscular. Para aceitar a  $W'$  como um verdadeiro estoque anaeróbio e, conseqüentemente, possibilitar a estimativa da capacidade anaeróbia, todos esses estoques anaeróbios devem ser completamente depletados ao final de cada sessão de exercício realizado até a exaustão, principalmente do glicogênio muscular. Entretanto, isso não parece estar completamente correto. Jones et al. (20) encontraram reduções de 74% da fosfocreatina em exercício exaustivo correspondente a 110% da intensidade de potência crítica, enquanto que Shearer et al. (30) relataram reduções de  $66 \pm 7\%$  do glicogênio total do músculo vasto lateral no exercício realizado até a exaustão voluntária a 75% do consumo máximo de oxigênio. Esses estudos de Jones et al. (20) e Shearer et al. (30) indicam que a exaustão no exercício parece não coincidir com a depleção total do glicogênio muscular. Em nossos resultados, os  $W_{\text{ANAER}}$  obtidos em cada sessão de exercício do teste de frequência crítica não apresentaram diferenças significativas. Contudo, isso significa, que o trabalho anaeróbio nas sessões de exercício foram similares, mas não que as reservas anaeróbias foram completamente depletadas. Provavelmente, os estoques anaeróbios tenham alcançado um valor crítico, mas não que foram completamente depletados. A acidose, assim como a depleção do substrato energético, também pode ser um fator que contribui para a fadiga em exercícios de alta intensidade (20). Entretanto, as concentrações de lactato obtidas após os esforços variaram entre  $5,6 \text{ mmol.L}^{-1}$  a  $7,7 \text{ mmol.L}^{-1}$  e, com esses valores, possivelmente a acidose não foi responsável pela exaustão. Nessas possibilidades, provavelmente, a exaustão deve ter ocorrido devido à precoce fadiga periférica (neuromuscular). Girard e Millet (14) relataram que nos esportes com raquetes, essa precoce fadiga periférica parece ocorrer devido os insuficientes períodos de recuperação entre cada esforço, que pode resultar em alterações no processo de acoplamento excitação–contração e/ou redução da excitabilidade do sarcolema causado por distúrbios iônicos. Desse modo, como provavelmente as reservas anaeróbias não são completamente depletadas durante as sessões de exercício no teste de potência crítica, a estimativa da CTA usando a  $W'$  parece ser incerta.

Como uma segunda hipótese, o modelo de potência crítica (usado para estimar a  $W'$ ) é baseado apenas na mensuração do tempo ou trabalho limite de exercício em algumas sessões

de esforço. Como nenhuma variável fisiológica é mensurada no teste, apenas o  $\dot{V}O_{2\max}$ , a realização de esforços sem uma ideal motivação pode induzir a erros na relação matemática e, assim, proporcionar erros na estimativa da  $W'$ . Quando alguns valores são ajustados para estimar a  $W'$  e a intensidade de potência crítica, cada parâmetro é associado a um erro padrão do ajuste (SE), que é descrito como a exatidão do ajuste do modelo matemático (18). O erro padrão do ajuste da  $W'$  pode ser associado a um erro randômico ou a um erro sistemático dos dados (18), no qual o erro randômico afeta o coeficiente de determinação do ajuste, enquanto que o erro sistemático resulta em uma não exata estimativa da  $W'$ , mas não afeta o coeficiente de determinação do ajuste. Hill e Smith (18) descreveram que um valor de SE considerado aceito para a estimação da  $W'$  é de aproximadamente de 10% da magnitude da  $W'$ . Em nossos resultados, os valores de SE da  $W'$  foram altos e corresponderam a  $18,5 \pm 3,8\%$  para o modelo linear- $f$ ,  $28,2 \pm 7,3\%$  para o modelo linear-TB,  $24,9 \pm 6,2\%$  para o Nlinear-2 e  $78,4 \pm 55,2\%$  para o modelo Nlinear-3. O erro randômico parece não ter ocorrido devido aos coeficientes de determinação obtidos (entre 0,94–1,00). Mas, o erro sistemático pode ter afetado a estimativa da  $W'$  devido à diferença encontrada entre os modelos Nlinear-2 e Nlinear-3 e também pelos altos SE encontrados. Zagatto, Papoti e Gobatto (33) também encontraram altos valores de SE da  $W'$  usando o modelo linear- $f$ , que correspondeu a  $32,6 \pm 18,8\%$ .

Os resultados obtidos no presente estudo relatam uma falta de substancial argumento para aceitação da  $W'$  como um procedimento capaz de estimar a capacidade anaeróbia no tênis de mesa.

## CONCLUSÃO

A  $W'$  estimada pelo modelo matemático Nlinear-3 não foi possível ser determinada para todos os sujeitos e parece superestimar as  $W'$  estimadas pelos outros modelos matemáticos. A  $W'$  estimada pelos quatro modelos matemáticos não foram correlacionadas com o MAOD, ambos os testes aplicados em condições específicas para o tênis de mesa. As  $W'$  também não foram correlacionadas com as  $W_{\text{ANAER}}$  mensuradas em cada sessão de exercício do teste de frequência crítica. Assim, a estimativa da capacidade anaeróbia por meio da  $W'$  no tênis de mesa não parece ser possível.

## REFERÊNCIAS

1. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 4: 381-394, 1987.
2. Beneke R, Beyer T, Jachner C, Erasmus J and Hutler M. Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol* 92: 518-523, 2004.
3. Berthoin S, Baquet G, Dupont G, Blondel N and Mucci P. Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. *Can J Appl Physiol* 28: 561-575, 2003.
4. Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E and Kiss MA. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 101: 293-300, 2007.
5. Bishop D, Jenkins DG and Howard A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med* 19: 125-129, 1998.
6. Bosquet L, Delhors PR, Duchene A, Dupont G and Leger L. Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med* 28: 495-500, 2007.
7. Brickley G, Dekerle J, Hammond AJ, Pringle J and Carter H. Assessment of maximal aerobic power and critical power in a single 90-s isokinetic all-out cycling test. *Int J Sports Med* 28: 414-419, 2007.
8. Buchheit M, Laursen PB, Millet GP, Pactat F and Ahmaidi S. Predicting intermittent running performance: critical velocity versus endurance index. *Int J Sports Med* 29: 307-315, 2008.
9. de Campos MF, de Moraes Bertuzzi RC, Grangeiro PM and Franchini E. Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. *Eur J Appl Physiol* 107: 615-619, 2009.

10. Dekerle J, Brickley G, Hammond AJ, Pringle JS and Carter H. Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *Eur J Appl Physiol* 96: 257-264, 2006.
11. Dekerle J, Sidney M, Hespel JM and Pelayo P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med* 23: 93-98, 2002.
12. di Prampero PE and Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol* 118: 103-115, 1999.
13. Dotan R. The Wingate anaerobic test's past and future and the compatibility of mechanically versus electro-magnetically braked cycle-ergometers. *Eur J Appl Physiol* 98: 113-116, 2006.
14. Girard O and Millet GP. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Neurol Clin* 26: 181-194, 2008.
15. Green S, Dawson BT, Goodman C and Carey MF. Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 69: 550-556, 1994.
16. Hendrix CR, Housh TJ, Johnson GO, Weir JP, Beck TW, Malek MH, Mielke M and Schmidt RJ. A comparison of critical force and electromyographic fatigue threshold for isometric muscle actions of the forearm flexors. *Eur J Appl Physiol* 105: 333-342, 2009.
17. Hill DW and Smith JC. A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. *Ergonomics* 36: 1495-1500, 1993.
18. Hill DW and Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 34: 23-37, 1994.
19. Housh TJ, Johnson GO, McDowell SL, Housh DJ and Pepper ML. The relationship between anaerobic running capacity and peak plasma lactate. *J Sports Med Phys Fitness* 32: 117-122, 1992.

20. Jones AM, Wilkerson DP, DiMenna F, Fulford J and Poole DC. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using <sup>31</sup>P-MRS. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 294: R585-R593, 2008.
21. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P and van KG. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 6: 197-201, 1985.
22. Lees A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 21: 707-732, 2003.
23. Medbo JJ, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O and Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol* 64: 50-60, 1988.
24. Minahan C, Chia M and Inbar O. Does power indicate capacity? 30-s Wingate anaerobic test vs. maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *Int J Sports Med* 28: 836-843, 2007.
25. Miura A, Endo M, Sato H, Sato H, Barstow TJ and Fukuba Y. Relationship between the curvature constant parameter of the power-duration curve and muscle cross-sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. *Eur J Appl Physiol* 87: 238-244, 2002.
26. Miura A, Sato H, Sato H, Whipp BJ and Fukuba Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics* 43: 133-141, 2000.
27. Monod H and Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 8: 329-338, 1965.
28. Morel EA and Zagatto AM. Adaptation of lactate minimum test, critical power and anaerobic threshold to measure the aerobic/anaerobic transition in specific tests for table tennis. *Rev Bras Med Esporte* 14: 518-522, 2008.
29. Nebelsick-Gullett LJ, Housh TJ, Johnson GO and Bauge SM. A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics* 31: 1413-1419, 1988.



30. Shearer J, Graham TE, Battram DS, Robinson DL, Richter EA, Wilson RJ and Bakovic M. Glycogenin activity and mRNA expression in response to volitional exhaustion in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 99: 957-962, 2005.
31. Toriola AL, Toriola OM and Igbokwe NU. Validity of specific motor skills in predicting table-tennis performance in novice players. *Percept Mot Skills* 98: 584-586, 2004.
32. Zagatto, A. M., Morel, E. A., Gobatto, C. A. Physiological responses and characteristics of table tennis match determined in official tournaments. *J Strength Cond Res*: in press, 2010.
33. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Anaerobic capacity may not be determined by critical power model in elite table tennis players. *J Sports Sci Med* 7: 54-59, 2008.
34. Zagatto AM, Papoti M and Gobatto CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sports Sci Med* 7: 461-466, 2008.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente tese objetivou investigar a aplicação de protocolos que pudessem prever a capacidade aeróbia e anaeróbia em mesaténistas, utilizando procedimentos já validados em outros ergómetros e que possam também estimar essas capacidades em teste específico para o ténis de mesa.

O conhecimento do perfil fisiológico do esporte é um requisito inicial na seleção do procedimento de avaliação. Desse modo, o perfil fisiológico do ténis de mesa, assim como as características do esporte, foram mensuradas no experimento 1. Foram obtidas baixas respostas lactacidémicas e verificada uma resposta sublimiar na frequência cardíaca durante o jogo. Esse resultado, associado à longa duração do jogo e à curta duração do rali, possibilitou concluir que, no jogo de ténis de mesa, o metabolismo aeróbio apresenta uma maior participação, principalmente nos períodos de pausa (recuperação entre cada rali). Porém, o ténis de mesa possuiu como principal sistema energético durante os esforços o sistema de fosfagénio (ATP-PCr), momento no qual é decidido o vencedor de uma partida.

Ainda, tanto as respostas lactacidémicas, quanto as características do jogo, são pouco influenciadas pelo nível de performance do atleta. Esses resultados são extremamente importantes e devem ser considerados no treinamento, possibilitando ao treinador planejar o treinamento, respeitando as demandas fisiológicas que o esporte requer do atleta, assim como as características específicas do jogo, como razão esforço e pausa, frequência de troca de bola no rali, durações dos esforços e das pausas, e outros.

Com base no estudo 1, que relatou que durante o jogo de ténis de mesa o sistema aeróbio possui uma grande participação, foram, então, comparadas as respostas fisiológicas em intensidade máxima e submáxima, obtidas em teste específico para o ténis de mesa, com as respostas fisiológicas mensuradas em ergómetros convencionais (cicloergómetro, ergómetro de braço e esteira rolante). Como o ténis de mesa não é um esporte muito investigado cientificamente e quase não é encontrado na literatura estudos que utilizam procedimento específico de avaliação para essa modalidade, a utilização de um ergómetro

convencional para avaliar a aptidão aeróbia poderia ser usual, devido à facilidade de acesso aos ergômetros convencionais nos laboratórios e também pela extensa investigação científica realizada nesses ergômetros. Contudo, significativas diferenças foram encontradas nas respostas fisiológicas máximas e submáximas entre o teste incremental específico e os testes incrementais em ergômetros convencionais, evidenciando a necessidade de aplicação de teste específico para avaliação de mesatenistas. Ainda, nesse experimento não foram verificadas significativas correlações entre as variáveis fisiológicas obtidas nos ergômetros com o ranking de classificação no tênis de mesa, relatando que a aptidão aeróbia no tênis de mesa não possibilita a predição da performance nesse esporte.

Desse modo, nos experimentos 3 e 4, foram investigadas as aplicações e padronizações de testes específicos para o tênis de mesa que pudessem estimar a capacidade aeróbia e a capacidade anaeróbia, respectivamente. Como a maioria dos clubes e equipes tem pouco acesso a ferramentas fisiológicas sofisticadas, o uso de um procedimento de fácil aplicação, baixo custo e não invasivo seria importante. Desse modo, o modelo de potência crítica foi selecionado como procedimento de investigação, pois abrange todos esses itens acima citados, além de teoricamente possibilitar a mensuração da capacidade aeróbia e capacidade anaeróbia em um mesmo procedimento. No experimento 3, o modelo de potência crítica adaptado para o tênis de mesa ( $fC$ ) foi aplicado utilizando os cinco modelos matemáticos encontrados na literatura, com os  $fC$  determinados usando os critérios de exaustão técnica e voluntária. Ainda no estudo 3, as  $fC$  foram comparadas com a intensidade de limiar anaeróbio de troca gasosa e investigada a correlação entre esses parâmetros (intensidades de  $fC$  e  $LAN_{GE}$ ), assim como a correlação da  $fC$  com o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . Os modelos aplicados de determinação da  $fC$ , exceto o modelo exponencial, que foi excluído da análise estatística devida a baixa amostra, não foram influenciados pelos critérios de exaustão (exaustão técnica ou voluntária). Essas  $fC$  determinadas também não foram estatisticamente diferentes da intensidade de  $LAN_{GE}$ ; e os modelos matemáticos lineares e hiperbólico foram significativamente correlacionados com o  $LAN_{GE}$  e com a  $f\dot{V}O_{2PICO}$ . Esses resultados, em adição aos estudos prévios de ZAGATTO et al. (2002a, 2007; 2008b) e MOREL e ZAGATTO (2008), que compararam a  $fC$  com procedimentos de mensuração da capacidade aeróbia por respostas lactacidêmicas, possibilitam o uso da  $fC$  como um bom índice para estimar a capacidade aeróbia em teste específico para o tênis de mesa.

No último experimento, o experimento 4, foi investigado o uso da  $W'$  proveniente do teste de frequência crítica, como método para estimar a capacidade anaeróbia no tênis de mesa. O uso da  $W'$  como um parâmetro anaeróbio não é um consenso na literatura e, mesmo no tênis de mesa, recentemente, Zagatto, Papoti e Gobatto (2008a) não verificaram validade na  $W'$  para estimar a capacidade anaeróbia para esse esporte. Porém, nesse estudo, a  $W'$  determinada em procedimento específico foi comparada com os resultados de testes de Wingate realizados no cicloergômetro e ergômetro de braço, que foi a maior limitação do estudo. No entanto, nesse experimento 4 a  $W'$  foi estimada usando todos os modelos matemáticos encontrados na literatura e foi investigada a correlação das  $W'$  estimadas com o MAOD e com o trabalho anaeróbio total em esforços supramáximos. Apenas o modelo NLinear-3 foi estatisticamente superior aos outros modelos. Porém, as  $W'$  estimadas não foram significativamente correlacionadas com o MAOD e nem com o trabalho anaeróbio total em exercício supramáximo, evidenciando que a  $W'$  não é um bom índice para estimar a capacidade anaeróbia em teste específico para o tênis de mesa.

## 6. CONCLUSÃO

O tênis de mesa apresenta baixa resposta lactacidêmica e resposta sublimiar da frequência cardíaca durante o jogo;

As características do jogo apresentam curtos períodos de esforços, com pausa um pouco mais prolongada, similares às verificadas nos outros esportes com raquetes;

Apenas a duração da pausa e as características do jogo determinadas utilizando esse parâmetro, como tempo efetivo de jogo e as razões esforço e pausa, foram modificadas pelo nível de performance do atleta;

Assumindo as respostas lactacidêmicas e a duração do jogo e dos esforços, o sistema aeróbio apresenta uma maior participação energética durante o jogo de tênis de mesa, principalmente nos períodos de pausa. Porém, o sistema de maior predominância nos períodos de esforços é o sistema anaeróbio alático;

As respostas fisiológicas máximas e submáximas obtidas no ergômetro específico para o tênis de mesa foram significativamente diferentes daquelas mensuradas nos ergômetros convencionais;

As respostas fisiológicas máximas e submáximas mensuradas no ergômetro específico, cicloergômetro, ergômetro de braço e esteira não foram significativamente correlacionadas com o ranking de classificação no tênis de mesa;

O modelo de potência crítica adaptado para o tênis de mesa não foi influenciado pelos critérios de exaustão (exaustão técnica ou voluntária).

O modelo EXP não demonstrou representar um bom modelo para estimar a  $f_C$  no tênis de mesa.

As  $fC$  estimadas pelos modelos lineares e hiperbólico foram significativamente correlacionadas com a  $f\dot{V}O_{2PICO}$  e também com o limiar anaeróbio de trocas gasosas, possibilitando o uso da  $fC$  para estimar a capacidade aeróbia em teste específico para o tênis de mesa.

A  $W'$  estimada pelo modelo matemático Nlinear-3 não foi possível ser determinada para todos os sujeitos e parece superestimar as  $W'$  estimadas pelos outros modelos matemáticos no tênis de mesa.

As  $W'$  estimadas pelos quatro modelos matemáticos não foram significativamente correlacionadas com o MAOD e com a  $W_{ANAER}$ , parecendo não ser um bom preditor da capacidade anaeróbia no tênis de mesa.

## 7. REFERÊNCIAS

AUNOLA, S; RUSKO, H. Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci*, v.10: 309-323, 1992.

BANGSBO, J. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Med Sci Sports Exerc*, v.30: 47-52, 1998.

BARON, R; PETSCHNIG, R; BACHL, N; RABERGER, G; SMEKAL, G; KASTNER, P. Catecholamine excretion and heart rate as factors of psychophysical stress in table tennis. *Int J Sports Med*, v.13: 501-505, 1992.

BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*, v.4: 381-394, 1987.

BASSET, FA; BOULAY, MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol*, v.81: 214-221, 2000.

BASSETT Jr, DR; HOWLEY, ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, v.32: 70-84, 2000.

BENEKE, R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc*, v.27: 863-867, 1995.

BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol*, v.89: 95-99, 2003.

BENEKE, R; BEYER, T; JACHNER, C; ERASMUS, J; HUTLER, M. Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol*, v.92: 518-523, 2004.

BENEKE, R; POLLMANN, C; BLEIF, I; LEITHÄUSER, RM; HÜTLER, M. How anaerobic is the wingate anaerobic test for humans. *Eur J Appl Physiol*, v.87: 388-392, 2002.

BENEKE, R; Von DUVILLARD, SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc*, v.28: 241-246, 1996.

BERTHOIN, S; BAQUET, G; DUPONT, G; BLONDEL, N; MUCCI, P. Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. *Can J Appl Physiol*, v.28: 561-575, 2003.

BERTUZZI, RC; FRANCHINI, E; KOKUBUN, E; KISS, MA. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol*, v.101: 293-300, 2007.

BILLAT, LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training: recommendations for long-distance running. *Sports Med*, v.22: 157-175, 1996.

BILLAT, LV; KORALSZTEIN, JP. Significance of the velocity at VO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*, v.22: 90-108, 1996.

BILLAT, VL; MILLE-HAMARD, L; DEMARLE, A; KORALSZTEIN, JP. Effect of training in humans on off- and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting intensity runs. *Eur J Appl Physiol*, v.87: 496-505, 2002.

BILLAT, VL; MORTON, RH; BLONDEL, N; BERTHOIN, S; BOCQUET, V; KORALSZTEIN, JP; BARSTOW, TJ. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake: *Eur J Appl Physiol*, v.82: 178-187, 2000

BILLAT; V.L.; MOUISEL, E.; ROBLOT, N.; MELKI, J. Inter- and intrastrain variation in mouse critical running speed. *Journal of Applied Physiology*. v.98: 1258-1263, 2005.

BISHOP, D; JENKINS, DG; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med*, v.19: 125-129, 1998.

BLIMKIE, CJR.; ROACHE, P; HAY, JT; BAR-OR, O. Anaerobic power of arms in teenage boys and girls: relationship to lean tissue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.57: 677-683, 1988.

BORG, GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, v.14: 377-381, 1982.



BOSQUET, L; DELHORS, PR; DUCHENE, A; DUPONT, G; LEGER L. Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med*, v.28: 495-500, 2007.

BOSQUET, L; DUCHENE, A; LECOT, F; DUPONT, G; LEGER, L. Vmax estimate from three-parameter critical velocity models: validity and impact on 800 m running performance prediction. *Eur J Appl Physiol*, v.97: 34-42, 2006.

BRICKLEY, G; DEKERLE, J; HAMMOND, AJ; PRINGLE, J; CARTER, H. Assessment of maximal aerobic power and critical power in a single 90-s isokinetic all-out cycling test. *Int J Sports Med*, v.28: 414-419, 2007.

BUCHHEIT, M; LAURSEN, PB; MILLET, GP; PACTAT, F; AHMAIDI, S. Predicting intermittent running performance: critical velocity versus endurance index. *Int J Sports Med*, v.29: 307-315, 2008.

BULBULIAN, R; JEONG, JW; MURPHY, M. Comparison of anaerobic components of the Wingate and critical power tests in males and females. *Med Sci Sports Exerc*, v.28: 1336-1341, 1996.

BULL, AJ; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; PERRY, SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med Sci Sports Exerc*, v.32: 526-530, 2000.

BULL, AJ; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; RANA, SR. Physiological responses at five estimates of critical velocity. *Eur J Appl Physiol*, v.102: 711-720, 2008.

BUTTS, NK; HENRY, BA; MCLEAN, D. Correlations between VO<sub>2</sub>max and performance times of recreational triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, v.31: 339-44, 1991.

CHIN, MI; WONG, ASK; SO, RCH; SIU, OT; STEININGER, K; LO, DTL. Sport specific fitness testing of elite badminton players. *Brit J Sports Med*, v.29: 153–157, 1995.

CHRISTMASS, MA; RICHMOND, SE; CABLE, NT; ARTHUR, PG; HARTMANN, PE. Exercise intensity and metabolic responses in single tennis. *J Sports Sci*, v.16: 739–747, 1998.

CLINGELEFFER, A; McNAUGHTON, LR; DAROVEN, B. The use of critical power as a determinant for establishing the onset of blood lactate accumulation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.68: 183-187, 1994.

COOKE, K; DAVEY, P. Predictors of oxygen uptake and performance during tennis. *Int J Sports Med*, v.29: 34-39, 2008.

DANIELS, J; DANIELS, N. Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc*, v.24: 483-489, 1992.

De ARAUJO, GG; PAPOTI,M.; MANCHADO, FB.; De MELLO, MAR; GOBATTO, CA. Protocols for hyperlactatemia induction in the lactate minimum test adapted to swimming rats. *Comp Biochemistry Physiol – Part A Molecular Integrative Physiology*, v.148: 888-92, 2007.

De CAMPOS, MF; De MORAES BERTUZZI, RC; GRANGEIRO, PM; FRANCHINI, E. Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. *Eur J Appl Physiol*, v.107: 615-619, 2009.

DEKERLE, J; BARON, B; DUPONT, L; VANVELCENAHAR, L; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power: *Eur J Appl Physiol*, v.89: 281-288, 2003.

DEKERLE, J; BRICKLEY, G; HAMMOND, AJ; PRINGLE, JS; CARTER, H. Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *Eur J Appl Physiol*, v.96: 257-264, 2006.

Dekerle, J; Sidney, M; Hespel, JM; Pelayo, P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med*, v.23: 93-98, 2002

DeVRIES, HA; MORITANI, T; NAGATA, A; MAGNUSSEN, K. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromiographic data. *Ergonomics*. v.25: 783-791, 1982.

Di PRAMPERO, PE; FERRETTI, G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*, v.118: 103-115, 1999.

DICKHUTH, HH; YIN, L; NIESS, A; ROCKER, K; MAYER, F; HEITKAMP, HC; HORSTMANN, T. Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med*, v.20: 122-127, 1999.

DOTAN, R. The Wingate anaerobic test's past and future and the compatibility of mechanically versus electro-magnetically braked cycle-ergometers. *Eur J Appl Physiol*, v.98: 113-116, 2006.

EVANS, SL; DAVY, KP; STEVENSON, ET; SEALS, DR. Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. *J Appl Physiol*, v.78: 1931–1941, 1995.

FACCINI, P; FAINA, M; SCARPILLINI, E; DAL MONTE, A. Il costo energetico nel tennistavolo. *Scuola dello Sport*. v.8: 38-42, 1989.

FERNANDES, J; MENDEZ-VILLANUEVA, A; PLUIM, B. Intensity of tennis match play. *Brit J Sports Med*, v.40: 387–391, 2006.

FERNANDEZ-FERNANDEZ, J; MENDEZ-VILLANUEVA, A; FERNANDEZ-GARCIA, B; TERRADOS, N. Match activity and physiological responses during a junior female singles tennis tournament. *Br J Sports Med*, v.41: 711–716, 2007.

FERRAUTI, A; BERGERON, MF; PLUIM, BM; WEBER, K. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol*, 85: 27–33, 2001.

FORBES, SC; CHILIBECK, PD. Comparison of a kayaking ergometer protocol with an arm crank protocol for evaluating peak oxygen consumption. *J Strength Cond Res*, v.21: 1282-1285, 2007.

FOXDAL, P; SJÖDIN, A; SJÖDIN, B. Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. *Int J Sports Med*, v.17: 360-365, 1996.

GAESSER, GA; CARNEVALE, TJ; GARFINKEL, A; WALTER, DO; WOMACK, CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc*, v.27: 1430-1438, 1995.

GAESSER, GA; POOLE, DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev*, v.24: 35-71, 1996.

GIRARD, O; CHEVALIER, R; HABRARD, M; SCIBERRAS, P; HOT, P; MILLET, GP. Game analysis and energy requirements of elite squash. *J Strength Cond Res*, v.21: 909–914, 2007.

GIRARD, O; CHEVALIER, R; LEVEQUE, F; MICALLEF, JP; MILLET, GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *Br J Sports Med*, v.40: 791–796, 2006b.

GIRARD, O; LATTIER, G; MICALLEF, JP; MILLET, GP. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *Br J Sports Med*, v.40: 521–526, 2006a.

GIRARD, O; MILLET, GP. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Neurol Clin*, v.26: 181-194, 2008.

GIRARD, O; MILLET, GP. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Neurol.Clin*, v.26: 181-194, 2008.

GIRARD, O; SCIBERRAS, P; HABRARD, M; HOT, P; CHEVALIER, R; MILLET, GP. Specific incremental test in elite squash players. *Br J Sports Med*, v.39: 921-926, 2005.

GREEN, HJ; DAWSON, BT. Measurement of anaerobic capacities in humans: definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Med*, v.15: 312-327, 1993.

GREEN, S; DAWSON, BT; GOODMAN, C; CAREY, MF. Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.69: 550-556, 1994.

HAGAN, DR; SMITH, MG; GETTMAN, LR. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Med Sci Sports Exerc*, v.13: 185-9, 1981.

HARNISH, CR; SWENSEN, TC; PATE, RP. Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, v.33: 1052-1055, 2001.

HAWLEY, JA; WILLIAMS, MM. Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *Int J Sports Med*, v.12: 1-5, 1991.

HECK, H; MADER, A; HESS, G; MÜCKE, S; MULLER, R; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med*, v.6: 117-130, 1985.

HENDRIX, CR; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; WEIR, JP; BECK, TW; MALEK, MH; MIELKE, M; SCHMIDT, RJ. A comparison of critical force and electromyographic fatigue threshold for isometric muscle actions of the forearm flexors. *Eur J Appl Physiol*, v.105: 333-342, 2009.

HILL, DW; FERGUSON, CS. A physiological description of critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.79: 290-293, 1999.

HILL, DW; SMITH, JC. A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. *Ergonomics*, v.36: 1495-1500, 1993.

HILL, DW; SMITH, JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness*, v.34: 23-37, 1994.

HORNERY, DJ; FARROW, D; MUJICA, I; YOUNG, W; PLUIM, B. An integrated physiological and performance profile of professional tennis. *Br J Sports Med*, v.41: 531-536, 2007.

HOUSH, TJ; CRAMER, JT; BULL, AJ; JOHNSON, GO; HOUSH, DJ. The effect of mathematical modeling on critical velocity. *Eur J Appl Physiol*, v. 84: 469-475, 2001.

HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; MCDOWELL, SL; HOUSH, DJ; PEPPER, ML. The relationship between anaerobic running capacity and peak plasma lactate. *J Sports Med Phys Fitness*, v.32: 117-122, 1992.

IMPELLIZZERI, FM; MARCORA, SM; RAMPININI, E; MOGNONI, P; SASSI, A. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists: *Br J Sports Med*, v.39: 747-751, 2005

JENKINS, DG; QUIGLEY, BM. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.61: 278-283, 1990.

JENKINS, DG; QUIGLEY, BM. Endurance training enhances critical power: *Med Sci Sports Exerc*, v.24: 1283-1289, 1992.

JOHNSON, CD; MCHUGH, MP; WOOD, T; KIBLER, B. Performance demands of professional male tennis players. *Br J Sports Med*, v.40: 696-699, 2006.

JONES, AM; DOUST, JH. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc*, v.30: 1304-1313, 1998.

JONES, AM; WILKERSON, DP; DIMENNA, F; FULFORD, J; POOLE, DC. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using <sup>31</sup>P-MRS. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, v.294: R585-R593, 2008.

KINDERMANN, W; SIMON, G; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.42: 25-34, 1979.

KOHR, WM. O'CONNOR, JS, SKINNER, JS. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc*, v.21: 569-575, 1989.

KOKUBUN, E. Velocidade crítica como estimador do limiar anaeróbio na natação. *Rev Paulista Ed Física*. v.10: 5-10, 1996.

KOVACS, MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. *Sports Med*, v.37: 189–198, 2007.

KUIPERS, H; VERSTAPPEN, FT; KEIZER, HA; GEURTEN, P; VAN KG. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*, v.6: 197-201, 1985.

KÜNSTLINGER, U; PREUB, A; SCHIEFLER, B. The energy metabolism in competitive table tennis. *Int J Sports Med*, v.9 (Abstract): 395, 1998.

LEES A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci*, v.21: 707-732, 2003.

MARANGON, L; GOBATO, CA; MELLO, MAR; KOKUBUN, E. Utilization of an hyperbolic model for the determination of the critical load in swimming rats. *Med Sci Sports Exerc (Supplement)*. v.34: S149-S149, 2002.

MARINQUE, DC; GONZÁLES-BADILLO, JJ. Analysis of the characteristics of competitive badminton. *Brit J Sports Med*, v.27: 62–66, 2003.

MARKOV, G; SPENGLER, CM; KNÖPFLI-LENZIN, C; STUESSI, C; BOUTELLIER, U. Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting cardiovascular responses to exercise. *Eur J Appl Physiol*, v.85: 233-239, 2001.

MATSUMOTO, I; ARAKI, H; TSUDA, K; ODAJIMA, H; NISHIMA, S; HIGAKI, Y; TANAKA, H; TANAKA, M; SHINDO, M. Effects of swimming training on aerobic capacity and exercise induced bronchoconstriction in children with bronchial asthma. *Thorax*, v.54: 196-201, 1999.

McCARTHY-DAVEY, P. Fatigue, carbohydrate supplementation and skilled tennis performance. In *Tennis Science and Technology* (editado por S. Haake e A.O. Coe), pp.333-340. Oxford. Blackwell.

McLELLAN, TM. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods: *Int J Sports Med*, v.6: 30-35, 1985.

McLELLAN, TM; CHEUNG, KSY. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold a the critical power. *Med Sci Sports Exerc*, v.24: 543-550, 1992.

MEDBO, JI; MOHN, AC; TABATA, I; BAHR, R; VAAGE, O; SEJERSTED, OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol*, v.64: 50-60, 1988.

MENDEZ-VILLANUEVA, A; FERNANDEZ-FERNANDEZ, J; BISHOP, D; FERNANDEZ-GARCIA, B; TERRADOS, N. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *Brit J Sports Med*, v.41: 296-300, 2007.

MEYER, T; LUCIA, A; EARNEST, CP; KINDERMANN, W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med*, v.26, Suppl 1: S38-S48, 2005.

MINAHAN, C; CHIA, M; INBAR, O. Does power indicate capacity? 30-s Wingate anaerobic test vs. maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *Int J Sports Med*, v.28: 836-843, 2007.

MIURA, A; ENDO, M; SATO, H; SATO, H; BARSTOW, TJ; FUKUBA, Y. Relationship between the curvature constant parameter of the power-duration curve and muscle cross-

sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. *Eur J Appl Physiol*, v.87: 238-244, 2002.

MIURA, A; SATO, H; SATO, H; WHIPP, BJ; FUKUBA, Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*, v.43: 133-141, 2000.

MONOD, H; SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, v.8: 329-338, 1965.

MONTPETIT, RR. Applied physiology of squash. *Sports Med*, v.10: 31-41, 1990.

MOREL, EA; ZAGATTO, AM. Adaptation of lactate minimum test, critical power and anaerobic threshold to measure the aerobic/anaerobic transition in specific tests for table tennis. *Rev Bras Med Esporte*, v.14: 518-522, 2008.

MORITANI, T; NAGATA, A; DeVRIES, HA; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*. v.24: 339-350, 1981.

MORTON, RH. A 3-parameter critical power model. *Ergonomics*. v.39: 611-619, 1996.

MORTON, RH; BILLAT, LV. The critical power model for intermittent exercise. *Eur J Applied Physiol*, v.91: 303-307, 2004.

MULLER, E; BENKO, U; RASCHNER, C; SCHWAMEDER, H. Specific fitness training and testing in competitive sports. *Med Sci Sports Exerc*, v.32: 216-220, 2000.

NAKAMURA, FY; OKUNO, NM; PERANDINI, LAB; De OLIVEIRA, FR; BUCHHEIT, M; SIMOES, HG. Perceived exertion threshold: Comparison with ventilatory thresholds and critical power. *Science & Sports*, v.24: 196-201, 2009.

NEBELSICK-GULLETT, LJ; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; BAUGE, SM. A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics*. v.31: 1413-1419, 1988.

NOAKES, TD. Testing for maximum oxygen consumption has produced a brainless model of human exercise performance. *Brit J Sports Med*, v.42: 551-555, 2008.



PAPOTI, M; MARTINS, L; CUNHA, S; ZAGATTO, A; GOBATTO, C. Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res.* 21: 538–542, 2007.

PAPOTI, M; VITÓRIO, R; ARAUJO, GG; SILVA, ARS; SANTHIAGO, V; MARTINS, LE; CUNHA, AS; GOBATTO, CA. Determination of Force Corresponding to Maximal Lactate Steady State in Tethered Swimming. *Int J Exerc Sci*, v.2: 269-279, 2009.

PAPOTI, M; ZAGATTO, A.M; FREITAS JÚNIOR, PB; CUNHA, SA; MARTINS, LEB; GOBATTO, CA. Utilização do intercepto-y na avaliação da aptidão anaeróbia e predição da performance de nadadores treinados. *Rev Bras Med Esporte.* 11: 126-130, 2005b.

PAPOTI, M; ZAGATTO, A; MARTINS, L; CUNHA, S; GOBATTO, C. Padronização de um protocolo específico para determinação da aptidão anaeróbia de nadadores utilizando células de carga. *Revista Portuguesa de Ciências Desporto.* 3: 36–42, 2003.

PAPOTI, M; ZAGATTO, AM; MENDES, OC; GOBATTO, CA. Utilização de métodos invasivo e não invasivo na predição das performances aeróbia e anaeróbia em nadadores de nível nacional. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto.* 5: 7-14, 2005a.

PEREIRA, G; De FREITAS, PB; RODACKI, A; UGRINOWITSCH, C; FOWLER, N; KOKUBUN, E. Evaluation of an innovative critical power model in intermittent vertical jump. *Int J Sports Med*, v.30: 802-807, 2009

PEREIRA, RR; PAPOTI, M; ZAGATTO, AM; GOBATTO, CA. Validação de dois protocolos para determinação do limiar anaeróbio em natação. *Motriz.* v.8: 63-68, 2002.

POOLE, DC. Letter to the editor-in-chief: *Med Sci Sports Exerc*, v. 18, p. 703-705, 1986.

PYNE, DB; LEE, H; SWANWICK, KM. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, v.33: 291-297, 2001.

REIS, VMMR. O método de estimativa do déficit de oxigénio acumulado na corrida em tapete rolante. 2003. Tese (Doutorado em Ciências do Desporto) – Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro Vila Real, Portugal.

RIBEIRO, JL; CASTRO, BOSD; ROSA, CS; BAPTISTA, RR; OLIVEIRA, AR. Heart rate and blood lactate responses to changquan and daoshu forms of modern wushu. *J Sports Sci Med*, CSSI:1-4, 2006.

RIBEIRO, JP, HUGHES, V; FIELDING, RA; HOLDEN, W; EVANS, W; KNUTTGEN, HG. Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds: *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.55:215-221, 1986.

RIBEIRO, LF, LIMA, MC; GOBATTO, CA. Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *J Sci Med Sport*, v.13: 141-145, 2010.

RIBEIRO, LF; GONCALVES, CG; KATER, DP; LIMA, MC; GOBATTO, CA. Influence of recovery manipulation after hyperlactemia induction on the lactate minimum intensity. *Eur J Appl Physiol*, v.105: 159-65, 2009.

ROELS, B; SCHMITT, L; LIBICZ, S; BENTLEY, D; RICHALET, JP; MILLET G. Specificity of VO<sub>2</sub>MAX and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. *Br J Sports Med*, v.39: 965-968, 2005.

ROETERT, PE; BROWN, SW; PIORKOWSKI, PA; WOODS, RB. Fitness comparisons among three different levels of elite tennis players. *J Strength Cond Res*, v.10: 139-43, 1996.

SALTIN, B; STRANGE, S. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sport Exerc*, v.24: 30-37, 1992.

SHEARER, J; GRAHAM, TE; BATTRAM, DS; ROBINSON, DL; RICHTER, EA; WILSON, RJ; BAKOVIC, M. Glycogenin activity and mRNA expression in response to volitional exhaustion in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, v.99: 957-962, 2005.

SJÖDIN, B; JACOBS, I. Onset blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med*, v.2: 23-26, 1981.

SMEKAL, G; POKAN, R; VON DUVILLARD, SP; BARON, R; TSCHAN, H; BACHL, N. Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Int J Sports Med*, v.21: 242-249, 2000.

SMEKAL, G; VON DUVILLARD, SP; POKAN, R; TSCHAN, H; BARON, R; HOFMANN, P; WONISCH, M; BACHL, N. Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol*, v.89: 489–495, 2003.

SMEKAL, G; Von DUVILLARD, SP; RIHACEK, C; POKAN, R; HOFMANN, P; BARON, R; TSCHAN, H; BACHL, N. A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc*, v.33: 999–1005, 2001.

SMITH, CGM; JONES, AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol*, v.85: 19-26, 2001.

STEGMANN, H; KINDERMANN, W; SCHANABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*, v.2: 160-165, 1981.

STEININGER, K; WODICK, RE. Sports-specific fitness testing in squash. *Br J Sports Med*, v.21: 23-26, 1987.

TABATA, I; NISHIMURA, K; KOUZAKI, M; HIRAI, Y; OGITA, F; MIYACHI, M; YAMAMOTO, K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*, v.28: 1327-1330, 1996.

TAKEUCHI, T; KOBAYASHI, Y; HIRUTA, S; YUZA, N. Effect of the 40 mm Diameter Ball on Table Tennis Rallies. 7th ITTF Sports Sciences Congress, Japan, 2001.

TEGTBUR, U; BUSSE, MW; BRAUMANN, KM. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. v.25: 620-627, 1993.

TORDI, N; BELLI, A; MOUGIN, F; ROUILLON, JD; GIMENEZ, M. Specific and transfer effects induced by arm or leg training. *Int J Sports Med*, v.22: 517-524, 2001.

TORIOLA, AL; TORIOLA, OM; IGBOKWE, NU. Validity of specific motor skills in predicting table-tennis performance in novice players. *Percept Mot Skills*, v.98: 584-586, 2004.

TOUBEKIS, AG; TSAMI, AP; TOKMAKIDIS, SP. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med*, v.27: 117-123, 2006.

VERGAUWEN, L; SPAEPEN, AJ; LEFEVRE, J; HESPEL, P. Evaluation of stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc.* v.30: 1281-1288, 1998.

VOLTARELLI, FA; GOBATTO, CA; MELLO, MAR. Determination of anaerobic threshold in rats using the lactate minimum test. *Braz J Med Biol Res*, v.35: 1-6, 2002.

WAKAYOSHI, K; IKUTA, K; YOSHIDA, T; UDO, M; MORITANI, T; MUTOH, Y; MIYASHITA, M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer: *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 64: 153-157, 1992.

WAKAYOSHI, K; YOSHIDA, T; UDO, M; HARADA, T; MORITANI, T; MUTOH, Y; MIYASHITA, M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v.66: 90-95, 1993.

WASSERMAN, K; WHIPP, BJ; KOYL, SN; BEAVER, WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*, v.35: 236-243, 1973.

WEINSTEIN, Y; BEDIZ, C; DOTON, R; FALK, B. Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the wingate test. *Med Sci Sports Exerc*, v.30: 1456-1460, 1998.

WILKINSON, M; LEEDALE-BROWN, D; WINTER, EM. Validity of a squash-specific fitness test. *Int J Sports Physiol Perform*, v.4: 29-40, 2009.

WONISCH, M; HOFMANN, P; SCHWABERGER, G; Von DUVILLARD, SP; KLEIN, W. Validation of a field test for the non-invasive determination of badminton specific aerobic performance. *Brit J Sports Med*, v.37: 115–118, 2003.

ZAGATTO, AM. Determinação da frequência crítica e da capacidade de trabalho anaeróbio no tênis de mesa em protocolo específico utilizando robô. Dissertação (Mestrado em Ciência da Motricidade). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro, 2004.

ZAGATTO, AM; GOBATTO, CA. Determinação de um modelo de avaliação aeróbia no tênis de mesa em protocolo específico utilizando robô. *Table Tennis Player*, v.15: 10-1, 2002a.

ZAGATTO, AM; PAPOTI, M; CAMARGO, ASB; ARAUJO, GG; GOBATTO, CA. Correlação entre o Tlimreal e o Tlimteórico do modelo de carga crítica de nado em ratos wistar. Motriz, v.9: S41, 2003a.

ZAGATTO, AM; CARVALHO, RLP, GOBATTO, CA. Determinação do protocolo de frequência crítica de disparo de bolas no tênis em protocolo específico. Motriz, v.9: S50, 2003b.

ZAGATTO, AM; GOBATTO, CA. Validação do modelo de frequência crítica em protocolo específico através de método indireto, para o tênis de mesa. Lecturas Educación Física y Deportes, v.110:1-7, 2007.

ZAGATTO AM; PAPOTI M; GOBATTO CA. Anaerobic capacity may not be determined by critical power model in elite table tennis players. J Sports Sci Med, v.7: 54-59, 2008a.

ZAGATTO AM; PAPOTI M; GOBATTO CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. J Sports Sci Med, v.7: 461-466, 2008b.

ZAGATTO AM; PAPOTI M; GOBATTO CA. Comparison between specific and conventional ergometers in the aerobic capacity determination in table tennis players. Rev Bras Med Esporte, v.15: 204-208, 2009.

ZAGATTO, AM; MOREL, EA; GOBATTO, CA. Physiological responses and characteristics of table tennis match determined in official tournaments. J Strength Cond Res. In press, 2010.

## **8. ANEXOS**

8.1. Anexo 1. Termo de consentimento livre e esclarecido aprovado pela Comitê de ética da Universidade Estadual Paulista

DECISÃO CEP Nº 12/2008

|                                                                                                                                                                 |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Instituição: UNESP – IB – CRC                                                                                                                                   | Departamento: Educação Física |
| Protocolo nº: 2982                                                                                                                                              | Data: 22.04.08                |
| Projeto de Pesquisa: "Padronização do modelo de potência crítica para avaliação da capacidade aeróbia e anaeróbia em protocolo específico para o tênis de mesa" |                               |

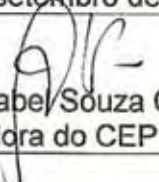
|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Pesquisa Individual | Pesquisador Responsável: |
|---------------------|--------------------------|

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Pesquisa Alunos de Graduação | Pesquisador Responsável: |
|                              | Orientando(a):           |

|                                  |                                                   |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| Pesquisa Alunos de Pós-Graduação | Pesquisador Responsável: Alessandro Moura Zagatto |
|                                  | Orientador(a): Prof.Dr. Claudio Alexandre Gobatto |

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Objetivo Acadêmico: | ( ) TCC                  |
|                     | ( ) Mestrado             |
|                     | ( x ) Doutorado          |
|                     | ( ) Outros (especificar) |

|                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP – Campus de Rio Claro, em sua 31ª reunião ordinária, realizada em 16/09/2008, |                                                                                                                                                                                                                                          |
| ( x )                                                                                                                                            | Aprovou o Projeto de Pesquisa acima citado, ratificando o parecer emitido pelo relator.                                                                                                                                                  |
| ( )                                                                                                                                              | Referendou o Projeto de Pesquisa acima citado, ratificando o parecer emitido pelo relator.                                                                                                                                               |
| ( )                                                                                                                                              | Aprovou <b>retornar</b> ao interessado para atendimento das <b>pendências</b> encontradas (prazo máximo de 60 dias):                                                                                                                     |
| ( )                                                                                                                                              | Não Aprovou.                                                                                                                                                                                                                             |
| ( )                                                                                                                                              | Retirou, devido à permanência das pendências.                                                                                                                                                                                            |
| ( )                                                                                                                                              | Aprovou o Projeto de Pesquisa acima citado e o <b>encaminha</b> , com o devido parecer, para apreciação da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa- <b>CONEP/MS</b> , por se tratar de um dos casos previstos no capítulo VIII, item 4.c. |

|                                                                                                                                                      |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Rio Claro, 16 de setembro de 2008.                                                                                                                   |  |
| <br>Profa. Dra. Maria Izabel Souza Camargo<br>Coordenadora do CEP |  |