
EDUCAÇÃO FÍSICA

LUIZA BERTELLI SIMÕES

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DA
PERFORMANCE EM EXERCÍCIOS DE CORRIDA
EM INTENSIDADES MÁXIMA E SUPRAMÁXIMA**

LUIZA BERTELLI SIMÕES

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DA
PERFORMANCE EM EXERCÍCIOS DE CORRIDA
EM INTENSIDADES MÁXIMA E SUPRAMÁXIMA**

ORIENTADOR: CAMILA COELHO GRECO

CO-ORIENTADOR: NATÁLIA DE MENEZES BASSAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Bacharela em Educação Física.

Rio Claro
2016

574.1
S593r Simões, Luiza Bertelli
 Respostas fisiológicas e da performance em exercícios de corrida em
 intensidades máxima e supramáxima / Luiza Bertelli Simões. - Rio Claro,
 2016
 53 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Educação física) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientadora: Camila Coelho Greco
Coorientadora: Natália de Menezes Bassan

1. Fisiologia. 2. Consumo de oxigênio. 3. Economia de corrida. 4.
Pacing. 5. Hipóxia. 6. Nível de treinamento. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

*A todos que percorrem o árduo caminho em busca do conhecimento científico,
Dedico...*

Agradecimentos

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, Reinaldo Henrique Fernandez Simões, Rosemeiri Bertelli Simões e Celina Bertelli Simões, que estiveram incondicionalmente ao meu lado em todas as minhas escolhas e sem os quais jamais teria alcançado meus objetivos. À Prof.^a Dr.^a Camila Coelho Greco por estar sempre pronta para transmitir parte de seus enormes conhecimentos e auxiliar em meu crescimento profissional. Aos colegas de laboratório, pelo esclarecimento de dúvidas e discussões proveitosas e pelo ótimo convívio tanto na formalidade acadêmica quanto fora deste ambiente. Aos amigos, pela força e paciência nos momentos difíceis e pela colaboração através de apoio moral e intelectual, em especial à Natália de Menezes Bassan e Renan Heli Vales Scopinho.

Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Na corrida, alguns fatores podem modificar as respostas fisiológicas em exercícios realizados em intensidades máxima e supramáxima (na e acima da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio - $VO_2\text{max}$). Deste modo, o objetivo deste estudo foi analisar os principais fatores relacionados a estas respostas fisiológicas e suas implicações para a *performance*. Entre os fatores importantes para o desempenho nestas condições, está a cinética do consumo de oxigênio (VO_2), pois um ajuste mais rápido pode contribuir para o aumento da tolerância ao exercício. Alguns fatores relacionados à economia de corrida (EC) podem influenciar o desempenho em corridas de meio fundo, porém estes mecanismos ainda não estão bem elucidados. O recrutamento de fibras musculares pode contribuir para a otimização do gasto energético e retardo do aparecimento da fadiga. Além disso, a escolha da estratégia de distribuição da intensidade de prova parece também ter implicações importantes sobre a *performance*, sendo esta específica à duração de cada prova. De modo geral, o treinamento específico a cada prova pode acarretar importante melhora no $VO_2\text{max}$, na velocidade correspondente ao $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$), na ativação muscular, na capacidade anaeróbia e, conseqüentemente, na *performance*. O treinamento em condições de hipóxia parece gerar incrementos ao rendimento de velocistas e meio fundistas, principalmente quando associado a estratégia de morar na altitude e treinar ao nível do mar, que permite adaptações importantes ao exercício e a manutenção da intensidade de treinamento. Estes e outros aspectos devem ser levados em consideração para avaliação e prescrição do

exercício com objetivos de melhora da *performance* de atletas velocistas e meio fundistas.

Palavras-chave: consumo de oxigênio, economia de corrida, *pacing*, hipóxia, nível de treinamento.

ABSTRACT

Physiological and performance responses in running exercises at maximal and supramaximal intensities

In running, some factors can modify physiological responses in exercises performed at maximal and supramaximal (at and above the intensity corresponding to maximal oxygen uptake - $VO_2\text{max}$). Therefore, the objective of this study was to analyze the main factors related to these physiological responses and their implications to performance. Among the important factors for the performance at these conditions, is the VO_2 kinetics, since a faster adjustment can contribute for the increase of tolerance to exercise. Some factors associated to the running economy (RE) can influence the middle distance performance, however the mechanisms are still not elucidated. The muscle fibers recruitment can contribute for the optimization of the energy expenditure and the delay in the onset of fatigue. Moreover, the choice of the strategy of distribution of the intensity during the exercise seems also have important implications on the performance, being this specific to the duration of the race. In general, the specific training for each running event can induce to important improvement on the $VO_2\text{max}$, the speed corresponding to $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$), muscle activation, anaerobic capacity and, consequently, on the performance. The training in hypoxic conditions seems to generate improvement of performance of middle distance athletes, mainly when associated with the strategy of "Living high, training low", that allows important adaptations to exercise and the maintenance of the training intensity. These and other aspects must be considered for the evaluation and

prescription of the exercise aiming to improve performance of short- and middle-distance athletes.

Keywords: oxygen uptake, *pacing*, hipoxia, training, running economy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivos específicos	13
3. JUSTIFICATIVA	13
4. MÉTODOS	14
5. REVISÃO DE LITERATURA	14
5.1. Intensidade de corrida e contribuição de vias energéticas	14
5.2. Cinética do VO_2	18
5.3. Economia de corrida.....	23
5.4. Parâmetros neuromusculares.....	25
5.5. Estratégia de distribuição de intensidade (pacing).....	27
5.6. Nível de treinamento dos atletas.....	31
5.7. Treinamento em hipóxia.....	35
6. CONCLUSÃO.....	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

As diferentes intensidades do exercício físico podem ser classificadas como submáxima, máxima ou supramáxima, quando realizados em intensidades abaixo daquela correspondente ao consumo máximo de oxigênio máximo (VO_{2max}), na intensidade correspondente ao VO_{2max} ou acima desta, respectivamente (BURNLEY e JONES, 2007; WASSERMAN et al., 2012). O VO_{2max} tem sido considerado como um parâmetro de avaliação da capacidade funcional, sendo este igualmente importante para analisar a capacidade de sustentar o exercício de alta intensidade. No entanto, os mecanismos que envolvem o comportamento da resposta do consumo de oxigênio (VO_2) no início do exercício, e o modo como este aumenta para atingir valores submáximos ou o VO_{2max} não são totalmente esclarecidos (OZYENER et al., 2001).

A resposta de parâmetros clássicos como o VO_2 , a concentração de lactato sanguíneo ([La]) e a tolerância ao exercício (i.e., tempo de exaustão - t_{lim}), tendem a ser diferentes, dependendo da intensidade na qual o exercício é realizado. Em exercícios realizados no domínio de intensidade severo, ou seja, acima da potência crítica / ou velocidade crítica, a [La] e o VO_2 não apresentam estabilização e, dependendo da duração do exercício, o indivíduo é capaz de atingir o VO_{2max} ao final do mesmo (CAPUTO e DENADAI, 2008). Há ainda o domínio extremo, caracterizado por exercícios que não podem ser sustentados por período suficiente para o alcance do VO_{2max} (JONES e POOLE, 2013). Assim, a cinética do VO_2 é um fator importante associado à tolerância ao exercício (BARSTOW et al., 1996; BURNLEY et al., 2000; JONES et al., 2003; KOPPO et al. 2004; WHIPP et al. 2005; JONES et al. 2011; CARITÁ et al., 2014). Outro fator importante é o déficit de O_2 e a depleção de substratos como a fosfocreatina e o glicogênio. Além destes fatores, durante o exercício de alta intensidade, há aumento nas concentrações de íons hidrogênio, perturbando o meio intercelular, que podem levar à fadiga e redução da tolerância ao exercício (GRASSI et

al., 2003; WHIPP et al., 2005; POOLE et al., 2008). Deste modo, análise das respostas do VO_2 durante o exercício pode ajudar na avaliação e a prescrição do exercício, visando a melhora de *performance* em diferentes modalidades esportivas.

Na corrida, entre as variáveis importantes para provas de velocidade e meio fundo (100 a 1.500 m), estão a potência anaeróbia, a capacidade anaeróbia e a vVO_{2max} , que corresponde à velocidade de corrida na qual o VO_{2max} é atingido durante um teste incremental (GREEN e DAWSON, 1993). Nestas provas, os atletas utilizam de grande aporte energético advindo das vias anaeróbias alática e láctica, em esforços que variam de alguns segundos até cerca de 5 minutos, abrangendo distâncias de (DUFFIELD et al., 2004a; 2004b; 2005; BILLAT et al., 2009; HANON e THOMAS, 2011). As corridas de velocidade são realizadas em intensidade supramáxima, possuem curta duração (variando em torno de 10 a 50 s) e incluem provas de 100 a 400 m, com exigência energética predominantemente anaeróbia (GASTIN, 2001). Eventos de média distância são representados principalmente por provas de 800 e 1.500m, com cerca de 2 e 5 min de duração (HUMPHREYS e HOLMAN, 1985; CAMUS, 1992) e, apesar de predominantemente aeróbios, também possuem importante contribuição anaeróbia, principalmente para provas de menor duração (BRANDON e BOILEAU, 1992; BRANDON, 1995, SPENCER e GASTIN, 2001).

Estudos têm mostrado que alguns fatores podem modificar as respostas fisiológicas e a *performance* durante exercícios realizados em intensidades máxima e supramáxima. Entre estes fatores estão a especialidade dos atletas (do NASCIMENTO SALVADOR et al., 2016), o nível de experiência dos mesmos (BOSQUET et al., 2007; de AGUIAR et al., 2015), a estratégia de distribuição da intensidade (HANON et al., 2008; HANON e THOMAS, 2011; TURNES et al., 2014), a cinética do VO_2 (CARTER et al., 2002) e a hipóxia (FRIEDMANN et al., 2007).

Portanto, a análise do comportamento de diferentes fatores que podem influenciar as respostas fisiológicas durante o exercício tem sido considerada um importante aspecto da *performance* esportiva, podendo revelar importantes implicações para a elaboração e a prescrição do treinamento. Na corrida, esta análise e entendimento dos fatores que influenciam no rendimento também pode ser interessante, uma vez que esta modalidade possui provas que são realizadas em distâncias e durações muito distintas.

2. OBJETIVO

O objetivo desta revisão de literatura foi analisar os principais fatores relacionados às respostas fisiológicas em exercícios máximo e supramáximo realizados na corrida, e suas implicações na *performance*.

2.1. Objetivos específicos

- Analisar as respostas de parâmetros fisiológicos durante a corrida realizada em intensidades máxima e supramáximas;
- Analisar a influência de diferentes fatores como *pacing*, hipóxia e nível de experiência, na *performance* de provas de corrida realizadas em intensidades máxima e supramáximas.

3. JUSTIFICATIVA

A análise dos fatores relacionados às respostas fisiológicas durante exercícios de corrida em intensidades máxima e supramáxima pode ser relevante para a avaliação e a prescrição do treinamento para a melhora da *performance*. Nestas condições, estes mecanismos podem estar diretamente associados à tolerância ao exercício e o seu

reconhecimento pode auxiliar no planejamento de intervenções individualizadas e específicas.

4. MÉTODOS

Foram consultadas em bases de dados integradas da área de saúde pelos sistemas Athena e Parthenon (catálogos de periódicos e da rede de Bibliotecas Públicas Estaduais e Federais do Estado de São Paulo) e Ingenio (catálogo de Bibliotecas e periódicos eletrônicos subsidiado pela Universidade Politécnica de Madri, Espanha), que integram as bases Turnitin, Google Scholar, Scielo, PubMed, Portal de Periódicos Capes, SportDiscus, Scopus. O levantamento bibliográfico foi realizado seguindo os procedimentos listados abaixo:

a) Inserção e combinação de palavras-chave sobre a problemática deste estudo nas referidas bases de dados: capacidades aeróbia e anaeróbia, cinética de VO_2 , consumo de oxigênio, corredores, corrida, fadiga, hipóxia, intensidades máxima e supramáxima, treinamento, *performance*, *pacing*, velocistas, VO_{2max} .

b) Foram considerados apenas textos disponíveis na íntegra, publicados até o ano de 2016.

5. Revisão de literatura

5.1. Intensidade de corrida e contribuição de vias energéticas

A utilização das vias aeróbia e anaeróbia para a produção energética durante o exercício depende diretamente da duração e intensidade do exercício (GASTIN, 2001). Em exercícios máximos que têm duração menor do que ~ 1 min 15 s, a contribuição

anaeróbia tende a ser maior do que a aeróbia, porém acima desta duração o sistema aeróbio tende a ser o predominante (GASTIN, 2001). O metabolismo anaeróbio, é subdividido em alático e láctico, os quais se referem respectivamente à hidrólise dos estoques dos fosfatos de alta energia (ATP e CP) e à degradação parcial da glicose, com formação de lactato (GASTIN, 2001).

Para a análise da participação relativa dos sistemas de produção energética, estudos têm utilizado o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD), sendo este utilizado como preditor da capacidade anaeróbia em exercícios supramáximos. (RAMSBOTTOM et al., 1994; CRAIG e MORGAN, 1998; DUFFIELD et al., 2005, CARTER et al., 2002). O MAOD é determinado durante a fase inicial do exercício, e pode ser calculado pela diferença entre o valor assintótico de VO_2 e o VO_2 mensurado em um determinado instante do exercício físico (GASTIN, 1994). No entanto, a precisão do MAOD pode ser questionável quando aplicado a eventos realizados em intensidades entre 150%-250% VO_{2max} , podendo subestimar a contribuição das vias anaeróbias durante o exercício (DUFFIELD et al., 2004). A principal crítica sobre o MAOD é assumir que a demanda energética durante o exercício supramáximo pode ser estabelecida pela extrapolação da relação VO_2 -intensidade dos testes submáximos. Em exercícios de cargas progressivas, sugere-se que há uma diminuição da eficiência com o aumento da intensidade e, conseqüentemente, o VO_2 não se mantém estável até nos primeiros 3 a 6 minutos, particularmente nas intensidades acima dos limiares metabólicos (WHIPP e WASSERMAN, 1972). Outros estudos utilizaram diferentes formas de estimar a contribuição dos sistemas anaeróbios de energia, porém ainda não há consenso na literatura sobre o método mais preciso para a quantificação desta contribuição durante o exercício. De qualquer forma, o MAOD é um método não invasivo, que pode ser utilizado para se estimar a capacidade anaeróbia.

Com relação à participação do metabolismo aeróbio para eventos de curta duração, apesar de não haver uma contribuição predominante nos exercícios mais

curtos, esta pode ser importante nestas condições. Por exemplo, a velocidade de ajuste do sistema aeróbio no início do exercício é importante para suprir a demanda total (DUFFIELD et al., 2004a). O comportamento da cinética do VO_2 pode influenciar tanto na velocidade de utilização das reservas anaeróbias como na taxa de acúmulo de metabólitos em nível muscular (DUFFIELD et al., 2004a; 2004b).

Assim, em exercícios com duração aproximada de 10 a 25 s, como em provas de corrida de 100 e 200 m rasos, a maior parte da energia para a contração muscular é produzida a partir de fontes de fosfato de alta energia, até que estas sejam esgotadas ou atinjam um nível crítico (MARGARIA et al., 1964; 1969). Nestes casos, há pouca formação de componentes ácidos em nível muscular e o débito de oxigênio é de pequena magnitude. A contribuição do sistema anaeróbio alático passa a ser menor em exercícios com duração acima de 20 s, já que tende a haver um aumento significativo da participação da glicólise anaeróbia (MARGARIA et al., 1967; 1969), e também a participação do sistema aeróbio, que, apesar de ainda pequena, também já apresenta um aumento com o aumento da duração do exercício. De fato, o fornecimento energético durante o exercício é proveniente das três vias principais (anaeróbia alática e láctica e aeróbia), que são estimuladas simultaneamente, sendo que o que muda é a contribuição relativa das mesmas com o aumento da duração do exercício (GASTIN, 2001).

Em provas de corridas de velocidade de 100, 200 e 400 m (duração média em torno de 10-12, 20-25 e 40-50 s, respectivamente) parece haver predomínio de vias anaeróbias (SPENCER e GASTIN, 2001; GASTIN, 2001; HANON et al., 2010) e, de modo geral, para atletas de elite, as intensidades destas provas oscilam em torno de 250 a 150% VO_{2max} (DUFFIELD et al., 2004a; 2005).

Estudos na literatura analisaram a contribuição dos sistemas anaeróbios durante provas de corrida de curta e média duração, baseada na relação entre as concentrações de lactato e fosfocreatina muscular (PCr). Duffield et al. (2004)

encontraram que esta é de 8% e 20% para as distâncias de 100 e 200 m, respectivamente, e de 35 a 43% para a distância de 400 m (Di PRAMPERO, 1993; SPENCER et al., 1996 ; HILL, 1999; SPENCER e GASTIN, 2001; DUFFIELD et al., 2005). Enquanto que parece existir uma associação entre o déficit de oxigênio e a performance em distâncias de 100 a 400 m (GASTIN, 2001), esta associação não parece ser tão evidente para os 800 m, provavelmente pelo aumento da contribuição aeróbia nesta condição (RAMSBOTTOM et al., 1994). De qualquer forma, em provas de 400 e 800 m há um acúmulo de metabólitos provenientes do metabolismo anaeróbio, que, pode contribuir para redução do VO_2 nos últimos trechos (HANON e GAJER, 2009), e conseqüente redução de velocidade. Portanto, além do treinamento associado a adaptações específicas nos sistemas energéticos, estímulos que promovam a melhora da capacidade dos sistemas tampão pode contribuir para gerar menores diminuições no pH e na velocidade no final da corrida (NUMMELA et al., 1992; HANON et al., 2010).

Em provas de 800 e 1.500 m, que são realizadas em intensidades supramáximas (120% e 100% VO_{2max}), e duração aproximada entre 100-110 e 210-230 s, respectivamente, ocorre a predominância da participação do sistema aeróbio (HILL, 1999; DUFFIELD et al., 2004b; HANON et al., 2008; 2010; THOMAS et al., 2005). Nestes casos, são relatados altos valores de VO_2 e há maior influência desta variável na *performance* de atletas. Estudos sugerem uma contribuição aeróbia de cerca de 55 a 65% para a distância de 800 m (Di PRAMPERO, 1993; SPENCER et al., 1996; HILL, 1999; SPENCER e GASTIN, 2001; DUFFIELD et al., 2005), e 76% a 86% para os 1500 m (HILL, 1999). Assim, nestas condições, o treinamento tanto com características anaeróbias quanto aeróbias pode ser importante para a melhora do rendimento.

A vVO_{2max} e o tempo limite (t_{lim}), tempo que o atleta sustenta o exercício nesta velocidade, são parâmetros considerados importantes para prescrição do treinamento (ANDERSON, 1994; LINDSAY et al., 1996; HILL e ROWELL, 1997; BILLAT et al., 1999;

ORTIZ et al., 2003), particularmente nas provas de meio fundo. Porém, para exercícios em velocidades em torno de 110% $vVO_2\text{max}$, Camus et al. (1988) verificaram que os maiores t_{lim} foram relatados em indivíduos com maiores reservas anaeróbias. Os resultados destacam a importância desta capacidade para a *performance* pois, apenas valores elevados de $VO_2\text{max}$ parecem não estarem associados necessariamente aos melhores desempenhos. Em estudo realizado por Arins et al. (2011), foi verificado que estes mesmos parâmetros ($vVO_2\text{max}$ e t_{lim}) foram os principais determinantes da *performance* para as distâncias de 800 m e 1500 m de corrida, corroborando com os dados de outras pesquisas (BILLAT et al., 1996; DENADAI et al., 2004). Portanto, a $vVO_2\text{max}$ e a capacidade anaeróbia são fundamentais tanto para a avaliação quanto para a prescrição do treinamento para provas de meio fundo.

Portanto, é recomendado a ênfase no trabalho dos sistemas anaeróbios para o treinamento de provas de velocidade de 100 m e 200 m, ao passo que, para as provas de 400 m e 800 m, é importante que haja a inclusão de treinamento aeróbio de alta intensidade, com ênfase na potência aeróbia. Por fim, no que diz respeito à otimização do desempenho em provas de 1500 m e 3.000 m, o treinamento objetivando a potência aeróbia, com parte deste direcionada ao incremento da capacidade anaeróbia pode ser importante.

5.2. Cinética do VO_2

A análise da cinética do VO_2 possibilita a descrição matemática da magnitude do VO_2 , e o tempo necessário para que o sistema cardiorrespiratório e o metabolismo muscular ajustem a oferta de oxigênio (O_2) à demanda muscular (QO_2) durante o exercício (CARITÁ et al., 2013). A capacidade de transportar e captar o O_2 influencia nos valores de VO_2 e (definir) QO_2 (GRASSI et al., 2003; POOLE et al., 2008; JONES et al., 2011). As variáveis temporais e de amplitude da cinética do VO_2 são importantes

para o entendimento da resposta do VO_2 , no início do exercício, e, particularmente nos exercícios realizados no domínio severo de exercício, estas podem estar associadas à tolerância ao exercício. Portanto, na corrida, particularmente nas provas de meio fundo, a cinética do VO_2 pode ser um importante aspecto da performance.

A cinética do VO_2 é caracterizada por meio de componentes exponenciais, que sugerem a presença de até três fases. A fase I ou componente cardiodinâmico, que é caracterizada por um rápido aumento no VO_2 , durante os primeiros 15-25 s de exercício. A fase subsequente, a fase II ou componente primário, que reflete o aumento no metabolismo oxidativo muscular. Por fim, a fase III, ocorre com a estabilidade no débito cardíaco e na extração de O_2 pelos músculos (GAESSER e POOLE, 1996).

Estudos têm proposto que os mecanismos de controle da cinética do VO_2 no início do exercício, podem estar associados ao aumento na taxa de fosforilação oxidativa, a qual é limitada pela capacidade de transporte de oxigênio (convecção e difusão) para musculatura ativa, e à limitação capacidade da musculatura em utilizar o oxigênio (influenciada pela inércia do metabolismo oxidativo) (GRASSI et al., 1996, 2003; BANGSBO et al., 2000). Com isso, a disponibilidade de O_2 parece ser um fator limitante para a cinética do VO_2 nos exercícios de alta intensidade. Portanto, mecanismos periféricos relacionados à oferta de O_2 (capilarização, fluxo sanguíneo periférico) e a atividade muscular (extração e utilização de O_2) parecem ser importantes para um aumento mais rápido do VO_2 ao início destes exercícios (CAPUTO, 2006). Além disso, fatores centrais também podem ser importantes para a capacidade de captação, transporte e utilização do O_2 .

A cinética do VO_2 também pode modificar a utilização das reservas energéticas. Estudos têm mostrado que, a resposta mais rápida da cinética do VO_2 reduz a magnitude do déficit de O_2 e retarda a degradação das reservas de fosfocreatina muscular (PCr), o que pode atenuar o acúmulo de íons H^+ e a acidose, (GERBINO et al., 1996; BOSQUET et al., 2007). Além disso, uma maior amplitude da resposta

primária do VO_2 pode contribuir para uma maior tolerância ao exercício (MURGATROYD et al., 2011). Desta maneira, o ajuste mais rápido do VO_2 parece resultar em melhores desempenhos em exercícios onde a duração é suficiente para que esta variável atinja o valor máximo.

A resposta do VO_2 e da concentração de lactato sanguíneo ([La]) tendem a apresentar respostas diferentes nos diferentes domínios de intensidade do exercício, que são o moderado (i.e., intensidades de exercício até o limiar de lactato), pesado (i.e., intensidades de exercício entre o limiar de lactato e a potência crítica / velocidade crítica), severo (i.e., intensidades de exercício acima da potência crítica / velocidade crítica) e extremo (i.e., intensidades nas quais a duração do exercício não permite que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ seja atingido) (POOLE et al., 1988; 1990; GAESSER e POOLE, 1996; WHIPP et al., 2005). Em exercícios realizados no domínio de intensidade severa, a [La] e o VO_2 não apresentam estabilização e, dependendo da sua duração, o indivíduo é capaz de atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ao final do mesmo (CAPUTO e DENADAI, 2008). Esse aumento contínuo e discreto do VO_2 durante o exercício é denominado componente lento da cinética de VO_2 . No domínio severo, o surgimento do CL pode direcionar o VO_2 ao seu valor máximo, o que parece ser um importante aspecto da tolerância ao exercício (MURGATROYD et al., 2011).

Nos exercícios de corrida realizados no domínio extremo podem ocorrer grandes perturbações iônicas e metabólicas e a magnitude de seus efeitos depende da sua duração (HIRVONEN et al., 1992; KINDERMANN et al., 1977). Nestes casos, há depleção de fosfocreatina intramuscular, além de grande déficit de O_2 , o que acarreta a utilização parcial dos estoques de glicogênio. Paralelamente, há aumento nas concentrações de íons hidrogênio, perturbando o meio intercelular, podendo contribuir para a fadiga e redução da tolerância ao exercício (GRASSI et al., 2003; WHIPP et al., 2005; POOLE et al., 2008).

Portanto em provas de corrida com duração em torno de 10 a 60 s, é necessário que os atletas mantenham esforços supramáximos durante todo o exercício, o que exige elevadas taxas de ressíntese de ATP muscular realizadas pelos sistemas anaeróbios (MARONSKI, 1996). Nestas condições, como há alta taxa da quebra da PCr muscular por unidade de tempo, tende a ocorrer também aumento na cinética do VO_2 (ASTRAND e SALTIN, 1961; HILL, 1999). No entanto, há provas onde a duração do exercício pode não ser suficiente para que o VO_2 atinja o seu máximo, como é o caso de corridas de 100 m rasos, que oscilam em torno de apenas 10 a 12 s em atletas treinados. Com isso, o ajuste mais rápido da curva do VO_2 pode não ser capaz de interferir significativamente, ou interfere de maneira reduzida, em *performances* de 100 e 200 m, pois a geração energética ocorre prioritariamente pela quebra de PCr, suplementada por glicólise anaeróbia.

De acordo com recentes investigações propostas por de Aguiar et al. (2015), atletas velocistas atingem o VO_2 pico mais rapidamente durante corrida “*all-out*” (início rápido) de 1 min, ainda que com valores inferiores de VO_2 (cerca de 24%), comparados a atletas de resistência. Porém, outros estudos têm mostrado que a estratégia de início rápido pode conduzir a diminuições do VO_2 em trechos finais de corridas, ocasionadas por perturbações metabólicas relacionadas à acidose (GRANIER et al., 1995; BILLAT et al., 2009; HANON et al., 2010; HANON e THOMAS, 2011).

No entanto, a duração de provas de distâncias iguais ou superiores a 400 m permite maior envolvimento do metabolismo aeróbio para a geração energética, o que aumenta a importância do melhor ajuste do VO_2 à demanda do exercício. Além disso, o aumento da contribuição da via glicolítica é parcialmente responsável pelas diminuições no VO_2 ao longo do exercício, devido à maior produção e acúmulo de metabólitos (BILLAT et al., 2009;. NUMMELA e RUSKO, 1995). Assim, ao mesmo tempo em que pode ser interessante que os atletas adotem um início rápido para acelerar o alcance do VO_{2max} , limitando a participação do sistema anaeróbio na parte

inicial da corrida, estes precisam controlar o tempo e intensidade desta aceleração, pois o excesso pode acarretar prejuízos ao desempenho na parte final da prova (HANON et al., 2008).

O comportamento da resposta do VO_2 em provas de corrida de 400, 800 e 1500 m foi analisado por Hanon e Thomas (2011), que estabeleceram relação entre $[\text{La}]$ e o pH sanguíneo. Nestas provas, foi verificado que altas $[\text{La}]$ podem estar relacionadas a declínios de suprimento e extração de oxigênio pelos tecidos, o que pode acarretar redução de velocidade nos trechos finais (JUBRIAS et al., 2003, ROZIER et al. 2007; MORTENSEN et al., 2007). Este acúmulo de metabólitos pode gerar redução do VO_2 nos últimos 100 m de provas de 400 m (HANON e GAJER, 2009) e na segunda volta de provas de 800 m (GAJER et al.; 2001), onde há redução de velocidade.

Além da concentração de metabólitos em nível muscular, alguns parâmetros respiratórios podem influenciar no desempenho dos últimos trechos de provas de 400 a 1.500 m. Em provas de 400 m, foi verificada relação entre as diminuições no VO_2 e do volume corrente, indicando que a regulação ventilatória induzida pelo acúmulo de íons ácidos é, um importante aspecto da diminuição do VO_2 (HANON e THOMAS, 2011). Neste caso, a combinação de baixos níveis de pH e uma baixa capacidade vital torna-se crítica para a pressão arterial de oxigênio (PaO_2) e, conseqüentemente, para a redução do VO_2 (HANON et al., 2010). Desta maneira, o ajuste mais rápido do VO_2 poderia proporcionar menor acúmulo de metabólitos e, conseqüentemente, menores reduções do VO_2 e manutenção de maiores velocidades até os trechos finais destas provas, resultando em melhora da *performance*.

Ao se comparar velocistas e meio-fundistas na intensidade correspondente a 100 e 120% $v\text{VO}_2\text{max}$, do Nascimento Salvador et al. (2016) verificaram que os meio fundistas apresentaram maiores valores de $v\text{VO}_2\text{max}$, tempos de exaustão e velocidade crítica (VC), enquanto maior capacidade anaeróbia foi detectada em

velocistas. Apesar das diferenças de características aeróbia e anaeróbia, a resposta da cinética do VO_2 foi similar nesta população e nestas intensidades.

Assim, ainda que a utilização das vias anaeróbias seja prioritária para a maioria das provas de velocidade e meio fundo, a adaptação aeróbia também parece ser extremamente relevante à medida que a duração do exercício aumenta. Neste contexto, alguns estudos demonstraram que um aumento da contribuição aeróbia apresentou um efeito positivo no resultado de testes de 400, 800 e 1.500 m, evidenciando que as *performances* de velocistas e meio fundistas estão relacionadas tanto a capacidade anaeróbia como também a parâmetros respiratórios como o VO_{2max} (FOSTER et al., 1993; HANON et al. 2007; TURNES et al., 2014).

Portanto, apesar de ainda haver dados pouco conclusivos com relação à cinética de VO_2 durante exercícios acima do VO_{2max} , esta parece ser, juntamente com os sistemas anaeróbios, um importante aspecto tanto da avaliação quanto da prescrição do exercício com objetivos de melhora da *performance* de atletas velocistas e meio fundistas.

5.3. Economia de Corrida

A economia de corrida (EC) pode ser definida como o custo de oxigênio para uma dada velocidade, sendo que a *performance* em altas velocidades depende tanto do VO_{2max} quanto da energia proveniente de fontes anaeróbias (BOILEAU et al., 1982; BRANDO e BOILEAU, 1992). A EC pode ser influenciada por diferentes aspectos, como características antropométricas e morfológicas, aspectos metabólicos e neuromusculares, e algumas intervenções como por exemplo o treinamento (MORGAN e CRAIG, 1992; SAUNDERS et al., 2004; ASSUMPÇÃO et al., 2013).

Alguns parâmetros biomecânicos como por exemplo a oscilação vertical do centro de gravidade, também podem influenciar na EC, sendo os indivíduos mais

econômicos aqueles que apresentam menores valores desta variável (ANDERSON, 1996), a posição do pé durante o apoio e sua projeção vertical, a amplitude e frequência de passada (REIS, 2005).

Os corredores mais econômicos são aqueles capazes de utilizar o VO_2 de forma mais eficaz durante provas de meio fundo e longas distâncias. No entanto, a importância relativa da EC durante corridas pode variar em função da distância e intensidade da prova, bem como do nível de contribuição das vias energéticas para o custo total da corrida (ARINS et al., 2011).

Algumas mudanças na EC provenientes de treinamentos de aeróbio têm sido atribuídas a modificações no padrão de recrutamento motor, diminuição da frequência cardíaca e ventilação pulmonar durante o exercício submáximo e melhora da técnica (DENADAI, 1999). De acordo com Ortiz et al. (2003), houve melhora da EC e da vVO_{2max} em indivíduos treinados após treinos intervalados a 100% vVO_{2max} , porém a 95% vVO_{2max} estas adaptações não ocorreram. Para corredores de meia distância, a inclusão de uma sessão semanal de treino aeróbio intervalado de alta intensidade (5 x ~ 2,5 min a 100% VO_{2max}) durante quatro semanas, foi suficiente para a melhora da EC (BILLAT et al., 1999). Estes dados indicam inicialmente, que a intensidade do exercício aeróbio, pode ser um aspecto importante na adaptação temporal da EC com o treinamento. Portanto, treinamentos intervalados de alta intensidade podem gerar melhora da EC em um curto período de tempo.

No entanto, até o momento, pouco se sabe sobre a relevância da EC na *performance* de corridas de intensidade máxima e supramáxima e, menos ainda, a respeito de programas de treinamento que otimizem estes valores para melhora no desempenho dos mesmos. A importância da EC parece ser relevante mais para exercícios com durações variando acima de ~ 3-4 min para corredores treinados, onde há maior demanda do metabolismo oxidativo (BILLAT et al., 2009).

Portanto, é necessária maior investigação acerca da relação entre os fatores capazes de influenciar a EC e a *performance* em intensidades de corrida máximas e supramáximas. Deste modo, a elaboração de treinamentos visando a otimização dos parâmetros que influenciam a EC poderiam auxiliar em uma maior compreensão da importância da melhora da EC para a *performance* e para a elaboração de programas de treinamento.

5.4. Parâmetros neuromusculares

As fibras musculares têm sido classificadas nos tipos I (lentas) ou II (rápidas), com seus diversos subtipos (i.e., IIA, IIB, IIX) (BASSET e HOWLEY, 2000; MCARDLE et al., 2003). De acordo com a distribuição das enzimas oxidativas e glicolíticas, as fibras musculares são classificadas em: fibras de contração rápida (metabolismo glicolítico), fibras mistas (metabolismo glicolítico e oxidativo) e fibras de contração lenta (metabolismo oxidativo) (BASSET e HOWLEY, 2000; GUYTON e HALL, 2011).

As fibras do tipo I possuem maior quantidade de mitocôndrias e mioglobina, o que proporciona maior capacidade oxidativa. Em contrapartida, as fibras do tipo II contêm de 15 a 20% PCr mais do que as do tipo I (SODERLUND e HULTMAN, 1991), o que está diretamente relacionado à sua maior capacidade anaeróbia. No entanto, apesar de produzir maiores valores de força e potência, necessários ao exercício de alta intensidade, as fibras tipo II são menos eficientes e resistentes. A ativação destas fibras demanda maior gasto de ATP, o que contribui para acentuada inércia oxidativa, lento ajuste do $\dot{V}O_2$ à demanda de ATP e aumento do déficit de O_2 (CROW e KUSHMERICK, 1982; SAUGEN e VOLLESTAD, 1995; CARITÁ et al., 2013).

A velocidade máxima de encurtamento do sarcômero (V_{max}) em fibras do tipo II é 3-5 vezes maior do que a encontrada para fibras do tipo I (COYLE, 1995). Além disso, a eficiência muscular, definida como a quantidade de trabalho realizado por fibra

muscular em relação ao seu gasto energético, é maior quando a velocidade de contração é de aproximadamente 1/3 da V_{max} para os dois tipos de fibras (COYLE, 1995). Assim, quando as contrações são realizadas isometricamente ou em baixas velocidades, as fibras do tipo I são mais eficientes do que as do tipo II (WENDT e GIBBS, 1973; GUGLIELMO et al., 2005). Porém, as fibras do tipo I possuem menor velocidade de encurtamento, e produção de força e potência comparadas às fibras do tipo II (JACKMAN e WILLIS, 1996; GRASSI et al., 2015).

Assim, à medida que a duração do exercício aumenta e a intensidade diminui, o recrutamento de fibras tipo I tende a ser maior ou até predominante (GUYTON e HALL, 2011). No entanto, em exercícios de intensidade máxima e supramáxima, ocorre ativação tanto de fibras do tipo I quanto do tipo II, devido à grande demanda energética necessária (VOLESTAD e BLOM, 1985; BIGLAND - RITCHIE et al., 1986, GAESSER e POOLE, 1996; BORRANI et al., 2001). Nestas intensidades, a ativação de fibras do tipo II tende a ser predominante para se atender a alta demanda energética em curto período de tempo.

Um outro aspecto importante na corrida, é a capacidade de armazenamento e liberação de energia elástica produzida durante o ciclo alongamento encurtamento (CAE), que ocorre em cada passada e é fundamental para a produção de força e eficiência mecânica para os corredores de endurance? (KOMI, 1992). A maior parte da força produzida em contrações musculares concêntricas é proveniente do componente contrátil, ou seja, da interação entre os filamentos de actina e miosina e há pouca energia elástica armazenada. No entanto, na fase excêntrica das contrações, o músculo é alongado juntamente com o seu componente elástico e, nessa condição, é armazenada grande quantidade de energia elástica (ROSSI e BRANDALIZE, 2007), que é utilizada na fase concêntrica subsequente do movimento.

A contração rápida necessária para a manutenção de altas velocidades em corridas de velocidade e meio fundo pode ser potencializada pelo armazenamento de

energia elástica muscular. Este efeito se manifesta em maior magnitude nos músculos onde predominam as fibras do tipo II, ou seja, corredores com alto percentual destas fibras exibem maior possibilidade de potencialização (HAMADA et al., 2000). É provável que esta maior capacidade de armazenamento de energia promova melhora na otimização da relação comprimento e frequência de passadas, sendo esta específica a cada tipo de prova, dependendo diretamente de sua intensidade e duração (KOMI, 2006).

Assim, fatores neurais, mecânicos e musculares podem contribuir para a *performance* de corredores de diferentes distâncias (GUGLIELMO et al., 2005). No entanto, a relação entre estas variáveis neuromusculares e a *performance* em provas de curtas e médias distâncias (abaixo de 1.500 m) ainda é pouco estudada. De modo geral, atletas com maior capacidade de utilização do CAE parecem ser mais econômicos, o que pode promover menores distúrbios metabólicos e fisiológicos (HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; PIRES et al., 2011; TUCKER, 2009).

Há ainda, evidências de que fatores genéticos podem influenciar em torno de 50% para diversas características fenotípicas relacionadas ao desempenho físico e a resposta ao treinamento em atletas, dentre estas, a proporção de cada tipo de fibra muscular (HOPKINS, 2001; EYNON et al., 2011). Deste modo, a melhora da *performance* de atletas de provas de diferentes distâncias depende também de uma predisposição genética adequada.

5.5. Estratégia de distribuição de intensidade (*pacing*)

O *pacing* pode ser definido como a variação na produção de potência ou velocidade que ocorre ao longo de uma determinada prova, com o objetivo de regular o gasto energético e concluir a tarefa em um menor tempo possível (FOSTER et al., 1993; de KONNING et al., 1999). O *pacing* que pode proporcionar o melhor rendimento

parece depender de diversos fatores como o tipo do exercício, duração do exercício, nível de desempenho (adversários), a capacidade dos sistemas energéticos, como também a capacidade de um atleta tolerar a fadiga, além das condições ambientais locais (e.g. temperatura, altitude) (FOSTER et al., 1994, 2004; NOAKES et al., 2004; 2005; TUCKER et al., 2004; BROW et al., 2010). Esta escolha de distribuição de intensidades parece ter implicações importantes sobre a *performance*, particularmente quando o resultado da prova é determinado pelo tempo necessário para completar um percurso, como é o caso de provas de corridas (ATKINSON et al., 2007).

Na literatura, há descrição de uma variedade de estratégias que envolvem diferentes condições e intensidades de exercício, dentre elas estão “*all out*” (início rápido), positiva (redução de velocidade ao longo da prova), negativa (aumento de velocidade no decorrer da prova), constante, ou ainda, comportamentos diversos como o *pacing* parabólico ou variável (ABBISS e LAURSEN, 2008). Até mesmo pequenas variações entre o *pacing* escolhido podem influenciar os resultados (de KONING et al., 1999).

O exercício realizado na forma “*all-out*” pode ser caracterizado como uma aplicação de potência máxima logo no início do exercício com a intenção de mantê-la elevada até o final da tarefa, embora haja uma gradativa queda em sua produção após os instantes iniciais (ABBISS e LAURSEN, 2008). Em provas de 100 m, 200 m e 400 m, foi verificado que os atletas atingiram velocidades pico antes de alcançar a metade da prova e, após uma fase variável de manutenção de velocidade, diminuíram progressivamente nos trechos finais (FERRO et al., 2001). A estratégia de *pacing* positivo ou início rápido é caracterizada por um declínio gradual da velocidade do atleta no decorrer do evento, mesmo após uma saída rápida (ABBISS e LAURSEN, 2008). Este tipo de regulação tem sido verificado em provas de meio fundo de 800 m, sem evidências de *sprint* final, e é caracterizada por elevados valores de VO₂ quando comparados ao *pacing* de ritmo constante (92,5% vs 89,3%) (TUCKER et al., 2006;

SANDALS et al., 2006; CORBETT, 2009). A estratégia de início rápido proporciona redução no tempo necessário para que o atleta atinja o seu $VO_2\text{max}$, além de permitir maior amplitude desta variável, o que explica os maiores valores obtidos comparados a estratégias onde o ajuste da curva do VO_2 é mais lento (i. e. *pacing* constante) (JONES et al., 2003; BURNLEY et al., 2005; TUCKER et al., 2006). Deste modo, o início rápido parece proporcionar melhores desempenhos e maior intensidade relativa na execução destas provas.

A maneira como o atleta impõe o ritmo no início de exercícios de corridas de velocidade e meio fundo pode influenciar o desempenho do restante da prova. Estudos demonstraram que no início do exercício supramáximo, independente da distância a ser percorrida, o tempo para atingir $VO_2\text{max}$ está inversamente relacionado à sua intensidade (HILL, 1999). O aumento do VO_2 no início do exercício é proporcional à taxa de mudança da [ATP] e da [PCr] (MARGARIA et al., 1964; OZYENER et al., 2001). Desta maneira, quanto mais rápida for a mudança nestas concentrações, maior o aumento do VO_2 no início do exercício (MAHLER et al., 1985; ROSSITER et al., 2011). Este fato pode explicar o efeito ergogênico das estratégias “*all out*” e positiva em corridas de velocidade e meio fundo (FOSTER et al., 1994; BISHOP et al., 2002; JONES et al., 2008; BAILEY et al., 2011). Assim, para *performances* em provas de corrida de velocidade e meio fundo de até 800 m, a estratégia mais vantajosa parece envolver a imposição de velocidades maiores do que a $vVO_2\text{max}$ no início do exercício, com desaceleração subsequente. Segundo Sandals et al. (2006), há progressiva redução de velocidade em corredores de elite de 800 m, que percorreram os primeiros 200 m, os 400 m intermediários, e os 200 m finais em 107,4%, 98,3% e 97,5%, da velocidade média de prova, respectivamente.

As respostas do VO_2 e da *performance* foram analisadas na corrida para um exercício supramáximo e a estratégia de início rápido proporcionou a realização de maior distância em um mesmo tempo, comparado ao exercício de velocidade constante

(683 m vs 670 m) (TURNES et al., 2014). Além disso, ao serem analisados na mesma velocidade média, o início rápido proporcionou maiores $\dot{V}O_2$ (125 s vs 114 s), com resposta da cinética do $\dot{V}O_2$ mais rápida. Assim, os autores concluem que a resposta do $\dot{V}O_2$ é mais rápida e as *performances* de corrida com durações entre 2-3 min podem ser melhores com a estratégia de início rápido. Este comportamento da cinética do $\dot{V}O_2$ parece reduzir a utilização da reserva anaeróbia durante a fase inicial de exercício, poupando esta energia para o restante da prova (NOAKES et al., 2005; JONES et al., 2008).

Deste modo, a melhora de *performance* com o início rápido poderia ser explicada não somente pela menor taxa de utilização da reserva anaeróbia, mas também pelo menor acúmulo de metabólitos (JONES et al., 2008). A adoção desta estratégia também gera maior concentração de ADP, PI e Ca^{+2} , sinalizando para o aumento do metabolismo oxidativo, o que pode acelerar o ajuste do $\dot{V}O_2$ (ROSSITER et al., 2011). Ainda, o desempenho bem sucedido em provas de velocidade de 400 m, 800 m e 1.500 m exige a otimização da capacidade de tamponamento (WARD-SMITH, 1999).

Apesar da estratégia de início rápido também ser frequentemente utilizada em provas de 1.500 m, a velocidade inicial é mais lenta comparada às provas de 800 m, além de haver maior custo metabólico proveniente do metabolismo aeróbio (SPENCER et al., 1996). Nestas provas, o efeito do início rápido para o desempenho ainda é pouco esclarecido e há maior variação na escolha do *pacing* entre atletas com diferentes níveis de treinamento. Em corridas com durações iguais ou superiores, parece haver uma regulação mais complexa, pois há significativa relação entre a velocidade de início, expressa em percentagem do $v\dot{V}O_{2max}$, e o desempenho final (HANON e THOMAS, 2011). Foi demonstrado que os atletas de 1.500 m que permanecem em maiores $\%v\dot{V}O_{2max}$ no início da prova obtêm os melhores desempenhos finais (BILLAT et al., 2009).

O comportamento da cinética do VO_2 em provas de 1.500 m tem sido analisado por meio de simulações em esteira ergométrica, utilizando exercícios de velocidade constante (SPENCER et al., 1996; DRAPER e WOOD, 2003, 2005) ou estratégia individual (*pacing* constante ou negativo) (SPENCER e GASTIN, 2001).

Portanto, os padrões de *pacing* “*all out*” e positivo têm sido propostos como estratégias ótimas para eventos de corrida em intensidades máxima e supramáxima (FOSTER, 1993; INGEN et al., 1994; de KONING, 1999; TUCKER et al., 2006). A estratégia ideal a cada distância parece estar relacionada aos diferentes comportamentos da cinética do VO_2 , visando a otimização das reservas energéticas e o retardo do surgimento de fadiga.

Há ainda o padrão do *pacing* parabólico, que representa a utilização tanto de estratégias positiva quanto negativa em diferentes momentos de um mesmo evento, ainda pouco investigado em provas de corrida devido à grande variação de padrão observado (KENNEDY e BELL, 2003; GARLAND, 2005). De modo geral, ao se analisar a *performance* em atletas recordistas mundiais, verifica-se que o início e o final de provas de meia e longa duração são significativamente mais rápidos do que os trechos intermediários (ABBISS e LAURSEN, 2008).

Portanto, a distância da prova parece ser um fator essencial para a definição da melhor estratégia de distribuição da intensidade do exercício .

5.6. Nível de treinamento dos atletas

O treinamento promove diversas adaptações metabólicas, variando em função de diversos fatores, como a modalidade e a intensidade do exercício. A *performance* pode variar significativamente entre corredores com diferentes níveis de treinamento, sendo os resultados em nível mundial significativamente melhores que os obtidos em competições nacionais e regionais. Ao se comparar os recordes mundiais para provas

de 100, 200, 400, 800 e 1.500 m aos tempos obtidos em competição nacional, fica evidente a diferença dos resultados (9,58 s vs 10,08 s; 19,19 s vs 20,16 s; 43,18 s vs 44,83 s; 1 min 40 s 91 vs 1 min 44 s 21; 3 min 26 s vs 3 min 37 s 53, respectivamente).

O estado de treinamento é também um dos principais fatores que podem influenciar a velocidade e a magnitude da resposta dos parâmetros da cinética do VO_2 . Fatores que podem ajudar a explicar as diferenças na cinética do VO_2 podem estar relacionados às diferenças de perfusão e densidade capilar entre os sujeitos e ao tipo de fibra recrutado, que é capaz de alterar a relação entre demanda muscular e consumo de oxigênio (CARITÁ et al., 2014). Ainda com relação às respostas da cinética do VO_2 , Bosquet et al. (2007) compararam atletas altamente treinados e atletas recreacionais durante o exercício realizado a 110% da velocidade pico atingida em um teste incremental em esteira ergométrica. A constante de tempo (τ), tempo requerido para alcançar 63% da amplitude do VO_2 , foi menor e a amplitude do VO_2 e a *performance* nos 800 m foram maiores nos corredores treinados.

Após um prolongado treinamento aeróbio, podem ocorrer, dentre outras adaptações, aumentos na concentração de enzimas oxidativas, bem como no número e tamanho de mitocôndrias. Estas mudanças contribuem para uma aceleração na cinética do VO_2 , independente da intensidade de exercício. Foi verificado que, um período de treinamento aeróbio proporcionou respostas mais rápidas da cinética do VO_2 em exercícios constante realizados por atletas de resistência, quando comparados a indivíduos não treinados (CAPUTO e DENADAI, 2004; BERGER et al., 2006; BERGER e JONES, 2007). Deste modo, em indivíduos treinados, o aumento de mitocôndrias em nível muscular pode proporcionar menores distúrbios na homeostase local, devido ao aumento na taxa de oxidação de gordura (poupando glicogênio muscular e glicose no sangue) e redução na produção de lactato durante o exercício (BASSET e HOWLEY, 2000). Além disso, este incremento pode permitir maior extração de O_2 nos capilares dos músculos em atividade.

O treinamento de resistência também pode induzir o aumento de $VO_2\text{max}$ e, como consequência, o mesmo ritmo de trabalho representa uma intensidade relativa inferior após o treinamento, podendo também resultar em menor aumento na $[La]$ (KARLSSON et al., 1972; HURLEY et al., 1984). Embora o $VO_2\text{max}$ em corredores (60 a $85 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) possa ser de 1,5 a 2,0 vezes maior do que em indivíduos não treinados, este índice isoladamente pode não representar um bom preditor de *performance* (DENADAI, 1999). Em atletas treinados em provas de 1.500 m, o $VO_2\text{max}$ não explicou de modo significativo a variação da *performance*, provavelmente pela pequena sensibilidade desta variável em atletas treinados (DENADAI et al., 2004). Nestas condições, tanto a resposta de lactato ao exercício como a EC podem, dependendo do tipo de treinamento, ser melhoradas sem nenhuma modificação do $VO_2\text{max}$. Esta hipótese é fundamentada em estudos que verificaram aumento ou diminuição da *performance* aeróbia, sem modificações do $VO_2\text{max}$, após um período de treinamento (DARREL et al., 1987, KOHRT et al., 1989; DENADAI et al., 2004).

Assim, as respostas de acúmulo de lactato não podem ser explicadas unicamente pelos valores de $VO_2\text{max}$ individuais. Para que a $[La]$ não atinja patamares elevados, é necessário que o treinamento envolva não só a otimização do VO_2 como o aumento da capacidade de remoção deste metabólito em nível muscular, o que envolve o incremento das capacidades anaeróbias (DONOVAN e PAGLIASSOTTI, 1990; MACRAE et al., 1992; MCDERMOTT e BONEN, 1993). Ainda, de acordo com Foster et al. (1994), atletas treinados são capazes de reconhecer baixos valores de pH muscular, ajustando o seu ritmo de prova de modo a atingir valores críticos de acidose apenas nos trechos finais.

Quando comparados a corredores de longa distância, atletas velocistas e meio fundistas possuem maior resistência a alterações no pH intracelular. Isto contribui para o retardo do aparecimento da fadiga em condições de exercícios máximo e supramáximo, devido ao aumento da capacidade de trabalho anaeróbio, predominante

nestas intensidades (CRIELAARD e PIMAY, 1981; BRANDON, 1995). Em estudo realizado por Nummela et al. (1996), atletas de fundo, meio fundo e velocistas de provas de 400 m foram testados quanto a algumas variáveis fisiológicas durante exercícios de corrida. Foi verificado que atletas de meia distância e de 400 m apresentaram maiores potência máxima, velocidade pico, força explosiva e [La] comparados aos corredores de fundo e o grupo controle (homens não atletas), o que pode ser relacionado a maior capacidade do sistema anaeróbio. Neste mesmo estudo, treinamentos envolvendo exercícios de rápidas contrações musculares e força de reação, como saltos e *sprints*, pode promover melhora do ciclo alongamento-encurtamento muscular, permitindo melhora na $v\text{VO}_2\text{max}$ em corridas de velocidade.

Existem respostas específicas nas fibras de contração rápida e lenta decorrentes de alterações bioquímicas induzidas pelo treinamento. Em indivíduos não treinados, conforme a intensidade e duração do exercício aumenta, há maior ativação de fibras tipo II, o que pode acarretar declínio de *performance* (HENNEMAN et al., 1974; OLSON et al., 1968; KOPPO et al., 2004). A ativação de fibras rápidas demanda maior gasto de ATP, o que contribui para acentuada inércia oxidativa, lento ajuste do QO_2 à demanda de ATP e aumento do déficit de O_2 (CROW e KUSHMERICK, 1982; SAUGEN e VOLLESTAD, 1995; CARITÁ et al., 2013).

A melhora no padrão de ativação muscular e/ou no recrutamento das fibras rápidas pode contribuir para melhor desempenho em provas de velocidade e meio fundo (ROSS et al., 2001). O aumento na eficiência da condução neural parece ocorrer em resposta a um período de treinamento de velocidade. Além disso, o treinamento resistido de alta intensidade modifica tanto o sistema nervoso como a morfologia muscular, o que propicia aumentos de força, excitabilidade do neurônio motor e taxa de disparo ou velocidade de condução do impulso neural (AAGAARD, 2003). Desta maneira, é relevante que estes tipos de treinamento sejam inclusos na rotina de

velocistas e meio fundistas, pois estas modificações neurais podem promover incrementos de força e potência muscular, otimizando o desempenho na corrida.

Portanto, o treinamento neuromuscular é também capaz de promover adaptações importantes ao desempenho de corredores, desde maior eficiência no padrão de ativação muscular (i.e., coordenação e sincronização), até aumento da capacidade de remoção de alguns metabólitos (HOLLOSZY e COYLE, 1984, GUYTON e HALL, 2011).

Assim, embora o treinamento anaeróbio seja prioritário para corredores de provas de velocidade, algumas adaptações aeróbias também podem ser relevantes para a *performance* destas provas, principalmente para os 400 m. Além disso, para que a [La] sanguíneo não atinja patamares elevados, é necessário que o treinamento envolva não só a otimização do VO_2 como o aumento da capacidade de remoção deste e de outros metabólitos em nível muscular (DONOVAN e PAGLIASSOTTI, 1990; MACRAE et al., 1992; MCDERMOTT e BONEN, 1993). Assim, a melhora na *performance* de velocistas e meio fundistas parece estar relacionada ao incremento de diferentes parâmetros fisiológicos e biomecânicos, como a potência e a capacidade anaeróbia, a potência aeróbia, padrões de ativação neuromuscular e economia de corrida (FOSTER et al., 1993; ROSS et al., 2001; HANON et al. 2007; ARINS et al., 2011; TURNES et al., 2014).

5.7. Treinamento em hipóxia

A diminuição do suprimento adequado de oxigênio aos tecidos e células é denominado hipóxia e pode ser causada por diversos fatores, enquanto a completa ausência de oxigênio é chamada de anóxia (POWERS e HOWLEY, 2006; GUYTON e HALL, 2011). A deficiência na difusão gasosa do O_2 entre a membrana alvéolo-pulmonar e capilar alveolar, com consequente diminuição de gás disponível para a

oxigenação dos tecidos, caracteriza a hipóxia hipobárica ou hipóxia de altitude (GUYTON e HALL, 2011).

Em estudos laboratoriais, comumente se utilizam câmaras com ambientes herméticos simulando diferentes condições de altitude, por meio do controle acurado da pressão barométrica em seu interior. Nestas câmaras, a liberação de ar para o exterior ou injeção de mistura gasosa rica em nitrogênio regulam a pressão parcial de oxigênio em seu interior, o que permite tanto a simulação de ambientes de hipóxia hipobárica e normobárica (GONZALEZ et al., 1998; BIGARD et al., 2000; MIYAZAKI e SAKAI, 2000; SINGH et al., 2001). O ambiente de hipóxia normobárica difere-se da condição hipobárica no que diz respeito aos valores de pressão parcial de oxigênio, sendo estes mais reduzidos na última.

O incremento da altitude está associado ao decréscimo exponencial da pressão barométrica e, paralelamente, da pressão parcial de oxigênio atmosférico (PO_2), o que promove alterações no conteúdo gasoso arterial e, conseqüentemente, na quantidade de oxigênio fornecido aos tecidos (MAIRBAURL, 1994; LOEPPKY et al., 1997). Em condições de hipóxia hipobárica, a diminuição da quantidade de oxigênio disponível aos tecidos implica em decréscimo do VO_{2max} (FERRETTI et al., 1997; ROBERGS et al., 1998), o que aumenta a intensidade relativa do exercício. Assim, pode ocorrer diminuição da capacidade de trabalho e aparecimento precoce de fadiga central e periférica. Este declínio de *performance* pode estar relacionado ao aumento do acúmulo de metabólitos e da exigência cardiorrespiratória. Comparado às condições de normóxia, foi verificada uma redução de aproximadamente 18% no VO_{2max} em corredores de meio fundo, durante exercícios similares realizados em condição de hipóxia hipobárica (altitude de 2.500 m) (OGAWA et al., 2005).

A exposição a ambientes de hipóxia hipobárica é indutora de inúmeras adaptações fisiológicas agudas e crônicas, que tendem a minimizar o efeito deletério da diminuição da quantidade de O_2 disponível aos tecidos. Adaptações nos sistemas

respiratório e circulatório, na regulação hormonal e hídrica, nos componentes hematológicos e na morfologia e metabolismo musculares, entre outras, parecem amenizar os efeitos fisiológicos da diminuição da disponibilidade de oxigênio aos tecidos (HOWALD et al., 1990; ENGFRED et al., 1994; HOPPELER et al. 1999; WALTER et al., 2001).

O fornecimento de energia anaeróbia é essencial ao desempenho de provas de velocidade e meio fundo, de modo que o incremento desta capacidade pode resultar em melhores resultados. Estudos revelaram que as [La] sanguíneo após corridas de meio fundo de 800 m são semelhantes às observadas ao final de provas de velocidade de 400 m (LACOUR et al., 1990). Durante exercícios de “*all out*” em hipóxia aguda com duração de 30 a 45 s, o acúmulo de lactato muscular é marcadamente aumentado, indicando maior demanda energética anaeróbia comparado a condições de normóxia (MCLELLAN et al., 1990; CALBET et al., 2003). Além disso, algumas evidências sugerem que durante o exercício supramáximo, com exaustão entre 30 e 60 s, a contribuição das fontes de energia anaeróbias também é aumentada tanto em hipóxia aguda quanto moderada (WEYAND et al., 1999).

O treinamento em altitudes elevadas pode acarretar melhora no desempenho de corredores de velocidade e meio fundo, na medida em que é capaz de ampliar tanto a capacidade aeróbia quanto a anaeróbia (SVEDENHAG et al. 1991; SALTIN et al., 1995; LEVINE e STRAY-GUNDERSEN, 1997; MEEUWSEN et al., 2001). No entanto, ainda há pouca informação a respeito das melhores condições de hipóxia, seja esta promovida pelo treinamento em altitude ou condições simuladas em laboratório, para que benefícios na *performance* sejam efetivamente verificados.

O período de aclimação ideal para exercícios realizados em médias altitudes parece oscilar em torno de 4 a 6 semanas, um período que pode maximizar as adaptações fisiológicas, porém também acarreta perda de condicionamento devido à intensidade reduzida de treinamento (CHAPMAN e LEVINE, 2003). De acordo com

Wilmore & Costill (2001) o treinamento de aclimatação ideal em altitude exige uma altura mínima de 1.500 m, que é o nível mais baixo no qual um efeito é percebido, até 3.000 m, considerado o nível mais alto para o condicionamento eficaz. Acima de 3.000 m a intensidade do treinamento precisa ser reduzida de tal forma que existe perda acentuada de condição física. Em ambos os ambientes, sob condições de hipóxia hipobárica e normobáricas, o $VO_2\text{max}$ e limiar anaeróbio diminuem com a redução da fração inspirada de oxigênio, e que há uma conseqüente diminuição da *performance* aeróbia (GAVIN et al., 1998; KOISTINEN et al., 1995; MARTIN e O'KROY, 1993; SQUIRES e BUSKIRK, 1981; TAKASE et al., 2002).

À medida que a intensidade do exercício aumenta, há maior recrutamento de fibras tipo II (BELTMAN et al., 2004; BILLAUT et al., 2006), fenômeno que pode ser acentuado por diferentes condições de hipóxia. Deste modo, mudanças metabólicas em nível dos músculos ativos também podem influenciar o recrutamento de unidades motoras durante o exercício, à medida que o PO_2 e pH apresentam decréscimos em condição de hipóxia, com conseqüente diminuição de *performance* (MORITANI et al., 1992).

O treinamento em hipóxia normobárica induzida pode aumentar a densidade mitocondrial e capilar entre as fibras musculares (VOGT et al., 2001). Ainda não se conhece exatamente qual a relação existente entre a disponibilidade de O_2 ambiental e a fosforilação mitocondrial oxidativa na musculatura esquelética. É possível que a capacidade oxidativa dos músculos aumente para compensar a deficiência de O_2 na atmosfera (HOPPELER et al., 2003). O número total de mitocôndrias aumenta com o treinamento, independente de alteração na concentração de O_2 ambiental, porém, o número de mitocôndrias subsarcolemais, próximas aos capilares, aumenta apenas em indivíduos submetidos ao treinamento em hipóxia (HOPPELER et al., 2003).

Ainda, em condições de hipóxia, a pressão alveolar de O_2 (PAO_2) e conseqüentemente a SaO_2 estão diminuídas, estimulando a eritropoiese (BAILEY,

2004). O aumento nos índices de eritropoetina, hormônio que regula a produção de hemácias, está relacionado com a diminuição da pressão de oxigênio do sangue arterial. Há ainda um aumento no número de hemácias e hematócritos, o que pode proporcionar incremento do $VO_2\text{max}$ e melhora de *performance*, devido à potencialização da capacidade de transporte de O_2 (CHAPMAN e LEVINE, 2003; WILMORE e COSTILL, 2001).

De acordo com McArdle et al. (1998), algumas das alterações fisiológicas que ocorrem durante uma exposição prolongada à altitude podem anular as adaptações que, hipoteticamente, poderiam otimizar a capacidade de *performance* após o retorno ao nível do mar. De fato, a perda de massa muscular, redução na frequência cardíaca máxima e no volume de ejeção são geralmente observadas durante a permanência em altitude. Deste modo, estas alterações poderiam anular os benefícios resultantes da maior capacidade sanguínea de transportar oxigênio.

Estima-se que exista uma média de redução no rendimento em provas de fundo (de 3 a 3,5%), mensurada pelo VO_2 , a cada 300 m de ascensão acima de 1.524 m (FOX et. al., 1991). No entanto, a altitude parece não produzir o mesmo decréscimo na capacidade de performance quando se trata de provas de curta duração, ou seja, quando há predomínio da produção energética anaeróbia. De acordo com os tempos de algumas provas do atletismo obtidos nas Olimpíadas realizadas na Cidade do México em 1968 (2.300 m), não houve queda em *performances* de curta duração, tanto para a categoria masculina como feminina. Nas provas de 100, 200, 400 e 800 m, os tempos obtidos foram melhores que na Olimpíada anterior, realizada em Tóquio no ano de 1964, onde a altitude é caracterizada a nível do mar. Além disso, os recordes olímpicos foram batidos em todas as disputas citadas anteriormente, ainda que realizadas em elevadas altitudes.

Nestas altitudes, a pressão atmosférica reduzida torna o ar menos denso, facilitando de forma substancial deslocamento do atleta em função da redução do atrito.

Em provas de duração de cerca de 25 s, como é o caso de corridas de 200 m, estima-se que 80% da necessidade energética sejam gerados pela glicólise e que somente 20% derivem do sistema aeróbio (CHAPMAN e LEVINE, 2003). Desta forma, a redução na potência aeróbica máxima em altitude nas provas rápidas (20%) pode ser compensada pela densidade reduzida do ar atmosférico.

Um estudo de Fox et al. (1991), incluindo 12 corredores de meia distância em uma altitude de 2.300 m mostrou que tanto o VO_2max quanto o desempenho na prova de 2 milhas (aproximadamente 3.220 m) foram reduzidos no primeiro e terceiro dia de permanência na altitude. Porém, foi observada melhora de 2% no VO_2max e no desempenho nesta distância após 18 a 20 dias de aclimatação. A velocidade máxima não foi modificada por hipóxia normobárica (13,0% de O_2), embora o VO_2 tenha sido inferior comparado às condições de normóxia (WEYAND et al., 1999). Provavelmente, neste estudo as taxas de metabolismo anaeróbio aumentaram o suficiente para compensar plenamente a energia aeróbia perdida durante *sprints* de até 60 s em hipóxia e parcialmente para o caso de corridas de até 150 s, o que equivalem à duração média de provas de velocidade e meio fundo até 800 m.

A resposta do VO_2 foi analisada em duas intensidades supramáximas de corridas e verificou-se que o tempo de exaustão e o consumo acumulado de O_2 foram menores em hipóxia, com redução de 28% e 45%, respectivamente (FRIEDMANN et al., 2007). Neste estudo, a capacidade anaeróbia não foi modificada, o que sugere que o comprometimento da *performance* em hipóxia ocorreu devido à redução na capacidade aeróbia. Além disso, Calbet et al. (2003) relataram que em um teste de Wingate de 30 s, a potência média de velocistas foi menor em hipóxia (10,0% O_2) que em normóxia; no entanto, no caso de ciclistas de *endurance*, a potência média se manteve. Estes e outros achados fornecem evidências de que em situação de hipóxia aguda, o desempenho do exercício de alta intensidade pode ser sustentado pelo aumento da capacidade de geração energética pelas vias anaeróbias.

De acordo com os resultados obtidos por Friedmann et al. (2007), pode-se supor que o exercício de alta intensidade com duração entre 40 e 120 s, realizado em hipóxia moderada, pode ser um meio para melhorar a capacidade anaeróbia. Nestas condições, a liberação de energia anaeróbia aumentou em relação ao exercício de mesma duração e intensidade realizado em normóxia. Além disso, a redução de performance em condições de hipóxia pode gerar adaptações que permitam melhora dos resultados quando este mesmo atleta retorna à altitude do nível do mar. Neste sentido, foi verificada melhora nos resultados em provas de 400 m ao nível do mar, após período de 10 dias de aclimatação em condição de hipóxia (NUMMELA e RUSKO, 2000). Alterações no equilíbrio ácido-base e do metabolismo de lactato podem ter sido os fatores responsáveis pela melhora observada. Neste período, os atletas permaneceram em altitude, sem qualquer programa de treinamento, restabelecendo suas rotinas de treino ao retornar ao nível do mar. Estes resultados sugerem que o modelo “*Live high, train low*” (viver no alto, treinar no baixo) parece ser interessante para o treinamento de corredores de meio fundo.

Portanto, os dados da literatura sugerem que o desempenho de velocistas e meio fundistas parece ser pouco modificado mediante exposição aguda à hipóxia moderada ou severa. De fato, nestas condições, ainda que ocorra considerável redução da potência aeróbia, há manutenção de *performance* devido à realocação do fornecimento energético necessário, proveniente das vias anaeróbias. Assim, é possível que o treinamento em hipóxia auxilie no incremento da capacidade anaeróbia, proporcionando melhora em *performance* de velocistas e meio fundistas. Porém, a magnitude destes benefícios ainda não é bem estabelecida. Além disso, o modelo “*Live high, train low*” parece representar uma intervenção positiva ao desempenho destes corredores, na medida em que fornece adaptações importantes ao exercício e permite a manutenção da intensidade de treinamento.

6. CONCLUSÃO

Portanto, parâmetros fisiológicos como a contribuição dos sistemas energéticos, a cinética do VO_2 e aspectos neuromusculares parecem ser aspectos importantes para o rendimento da corrida realizada em intensidades máxima e supramáximas. Além disso, fatores como *pacing*, hipóxia, nível de experiência e treinamento podem influenciar a *performance* de provas de corrida realizadas em intensidades máxima e supramáximas. No entanto, é importante se considerar a distância da prova, pois a duração do exercício é um aspecto fundamental para a análise dos efeitos destas diferentes intervenções, como também na elaboração e prescrição do treinamento.

7. REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. Training-induced changes in neural functions. Philadelphia, *Exerc. Sports. Sci. Rev.*, v. 31, n. 2, p. 61–67, 2003.
- ANDERSON, O. To optimize your performance, train 'A la Veronique'. [S.l.], *Running Res*, v. 10, p. 1-4, 1994.
- ANDERSON, Tim. Biomechanics and running economy. Auckland, *Sports. Med.*, v. 22, n. 2, p. 76-89, 1996.
- ANSLEY L, ROBSON PJ, ST CLAIR GA, NOAKES TD. Anticipatory pacing strategies during supra-maximal exercise lasting more than 30 s. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 36, n. 2, p. 309-314, 2004.
- ARINS, F. B.; SILVA, R. C. R. D.; PUPO, J. D.; GUGLIELMO, L. G. A.; SANTOS, S. G. D. Neuromuscular and physiological indices associated with 800-and 1500-m running performance. Rio Claro, *Motriz: Revista de Educação Física*, v.17, n.2, p. 338-348, 2011.
- ASTRAND, P.O.; RODAHL, K. *Textbook of Work Physiology*. 3ed. New York, McGraw-Hill, 1986.
- BANGSBO, J.; KRUSTRUP, P.; GONZÁLEZ-ALONSO, J.; BOUSHEL, R.; SALTIN, B. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. Bethesda, *Am. J. Physiol-Reg. Integr. Comp. Physiol.*, v. 279, n. 3, p. R899-R906, 2000.
- BARSTOW, T.J.; JONES, A.M.; NGUYEN, P.; CASABURI, R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 81, n. 4, p. 1642-1650, 1996.
- BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.
- BELTMAN, J. G. M.; SARGEANT, A. J.; VAN MECHELEN, W.; DE HAAN, A. Voluntary activation level and muscle fiber recruitment of human quadriceps during lengthening contractions. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 97, n. 2, p. 619-626, 2004.
- BERGER, N. J.; RITTWEGGER, J.; KWIET, A.; MICHAELIS, I.; WILLIAMS, A. G.; TOLFREY, K.; JONES, A. M. Pulmonary O_2 uptake on-kinetics in endurance-and

- sprint-trained master athletes. New York, *Int. J. Sports. Med.*, v. 27, n. 12, p. 1005-1012, 2006.
- BERGER, N.J.; JONES, A.M. Pulmonary O₂ up take on-kinetics in sprint- and endurance-trained athletes. Ontario, *Appl. Physiol. Nutr. Meta.*, v. 32, n.3, p.383–93, 2007.
- BIGARD, A.X.; SANCHEZ, H.; BIROT, O.; SERRURIER, B. Myosin heavy chain composition of skeletal muscles in young rats growing under hypobaric hypoxia conditions. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 88, n. 2, p. 479-486, 2000.
- BIGLAND-RITCHIE, B.; JONES, D. A.; WOODS, J. J. Excitation frequency and muscle fatigue: electrical responses during human voluntary and stimulated contractions. New York, *Exp. Neurol.* v. 64, n. 2, p. 414-427, 1979.
- BILLAT, V.L.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at vVO₂max and time to exhaustion at this velocity. Auckland, *Sports. Med.*, v. 22, n. 2, p. 90-108, 1996.
- BILLAT, V.L.; RICHARD, R.; BINSSE, V.M.; KORALSZTEIN, J.P.; HAOUZI, P. The VO₂ slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v.85, n.6, p.2118–24, 1998.
- BILLAT, V. L. et al. Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 31, n. 1, p. 156-163, 1999.
- BILLAT, V.L. Interval training for *performance*: a scientific and empirical practice. Auckland, *Sport. Med.*, v. 31, n.1, p. 13-31, 2001.
- BILLAT, V.; HAMARD, L.; KORALSZTEIN. J.P.; MORTON, R.H. Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v.107, n. 2, p. 478–87, 2009.
- BILLAUT, F.; BASSET, F. A.; GIACOMONI, M.; LEMAITRE, F.; TRICOT, V.; FALGAIRETTE, G. Effect of high-intensity intermittent cycling sprints on neuromuscular activity. New York, *Int. J. Sport. Med.*, v. 27, n. 01, p. 25-30, 2006.
- BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 34, n. 6, p. 1041-1047, 2002.
- BOILEAU, R.A.; MAYHEW, J. L.; RINER, W. F.; LUSSIER, L. Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. Ottawa, *Can. J. Appl. Sport. Sci.*, v. 7, n. 3, p. 167-72, 1982.
- BORRANI, F.; CANDAU, R.; MILLET, G.Y.; PERREY, S.; FUCHSLOCHER, J.; ROUILLON, J.D. Is the slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v.90, n.1, p. 2212-20, 2001.
- BRANDON, L.J; BOILEAU, R.A. Influence of metabolic, mechanical and physique variables on middle distance running. Torino, *J. Sport. Med. Phys. Fit.*, v. 32, n. 1, p. 1-9, 1992.
- BRANDON, L.J. Physiological factors associated with middle distance running performance. Auckland, *Sport. Med.*, v. 19, n. 4, p. 268-277, 1995.
- BOSQUET, L.; DUCHENE, A.; DUPONT, G.; LEGER, L.; CARTER, H. VO₂ kinetics during supramaximal exercise: relationship with oxygen deficit and 800-m running performance. New York, *Int. J. Sport. Med.*, v. 28, n. 6, p. 518-524, 2007.
- BURNLEY, JONES, A. M.; CARTER, H.; DOUST, J. H. Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 89, n. 4, p. 1387-1396, 2000.
- BURNLEY, M.; DOUST, J. H.; JONES, A. M. Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 37, n. 5, p. 838-845, 2005.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. Berlin, *Eur. J. Sport. Sci.*, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2007.

- BURNLEY, M.; DAVISON, G.; BAKER, J.R. Effects of priming exercise on VO₂ kinetics and the power-duration relationship. Hagerstown, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, v. 43, n. 11, p. 2171-2179, 2011.
- CALBET, J.A.; BOUSHEL, R.; RÅDEGRAN, G.; SØNDERGAARD, H.; WAGNER, P. D.; SALTIN, B. Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. Bethesda, *Am. J. Physiol-Reg. Integr. Comp. Physiol.*, v. 284, n. 2, p. R291-R303, 2003.
- CAMUS, G.; JUCHMES, J.; THYS, H.; FOSSION, A. Relationship between endurance time and maximum oxygen consumption in supramaximal running. London, *J. Physiol.*, v. 83, n. 1, p. 26-31, 1988.
- CAPUTO, F. *Determinação da maior intensidade de esforço onde o consumo máximo de oxigênio é atingido durante o ciclismo: influência do estado e especificidade do treinamento aeróbio*. 2006. xiv, 80 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100434>>.
- CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 93, n. 1-2, p. 87-95, 2004.
- CAPUTO, F.; DENADAI, B. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 103, n. 1, p. 47-57, 2008.
- CARITÁ, R.A.C; PESSÔA FILHO, D.M.; GRECO, C.C. Cinética do VO₂ durante o exercício realizado na potência crítica em ciclistas e indivíduos não-treinados no ciclismo. Rio Claro, *Motriz*, v. 9 n. 2, p. 412-22, 2013.
- CARITA, R. A. C.; PESSOA FILHO, D. M.; BARBOSA, L. F.; GRECO, C. C. Componente lento da cinética do VO₂: determinantes fisiológicos e implicações para o desempenho em exercícios aeróbios. Florianópolis, *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho. Hum*, p. 233-246, 2014.
- CARTER, H.; PRINGLE, J.S.; JONES, A.M.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 86, n. 4, p. 347-54, 2002.
- CHAPMAN, R. F.; LEVINE, B. D. O Efeito da Hipo e da Hiperbaria sobre a Performance. In: *Garrett, JR; Kirkendall, DT A Ciência do Exercício e dos Esportes*. Porto Alegre, Artmed, p. 477-488, 2003.
- CORBETT J. An analysis of the pacing strategies adopted by elite athletes during track cycling. Champaign, *Int. J. Sport. Physiol. Perform.*, v. 4, n. 2, p. 195-205, 2009.
- COYLE, E. F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. New York, *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, v. 23, n. 1, p. 25-64, 1995.
- CRAIG, I. S.; MORGAN, D. W. Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 30, p.1631-1636, 1998.
- CRIELAARD, J.M.; PIRNAY, F. Anaerobic and aerobic power of top athletes. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 47, n. 1, p. 295-300, 1981.
- CROW, M. T.; KUSHMERICK, M. J. Chemical energetics of slow-and fast-twitch muscles of the mouse. New York, *J. Gen. Physiol*, v. 79, n. 1, p. 147-166, 1982.
- DARREL, P.D.; COSTILL D.L.; FIELDING, R.A.; FLYNN, M.G.; KIRWAN, J.P. Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers. Hagerstown, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, v. 21, n. 1, p. 569-75, 1987.
- DO NASCIMENTO SALVADOR, P.C.; DAL PUPO, J.; DE LUCAS, R.D.; DE AGUIAR, R.A.; ARINS, F.B.; GUGLIELMO, L.G. The VO₂ kinetics of maximal and supramaximal running exercises in sprinters and middle-distance runners. Colorado Springs, *J. Strength. Cond. Res.*, v. 30, n. 10, p. 2857-63, 2016.
- DE AGUIAR, R. A.; LISBÔA, F. D.; TURNES, T.; DE OLIVEIRA CRUZ, R. S.; CAPUTO, F. The effects of different training backgrounds on vo₂ responses to all-out

- and supramaximal constant-velocity running bouts. San Francisco, *PloS One*, v. 10, n. 8, p. e0133785, 2015.
- DE KONING, J.J.; BOBBERT, M.F.; FOSTER, C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. Belconnen, *J. Sci. Med. Sport.*, v. 2, n. 1, p. 266–277, 1999.
- DENADAI, B.S. *Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações*. Ribeirão Preto, BSD, 1999.
- DENADAI, B. S. Intensidade e tempo de exaustão a 100% do VO₂max: implicações para o treinamento e a *performance*. Rio de Janeiro, *Rev. Ed. Fis.*, [S.l.], n. 124, p. 23-36, 2000.
- DENADAI, B. S.; ORTIZ, M. J.; MELLO, M. D. Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. São Paulo, *Rev Bras. Med. Esporte.*, v. 10, n. 5, p. 401-4, 2004.
- DENADAI, B. S.; DE AGUIAR, R. A.; DE LIMA, L. C. R.; GRECO, C. C.; CAPUTO, F. Explosive training and heavy weight training are effective for improving running economy in endurance athletes: a systematic review and meta-analysis. Auckland, *Sports. Med.*, p. 1-10, 2016.
- DONOVAN, C. M.; PAGLIASSOTTI, M. J. Enhanced efficiency of lactate removal after endurance training. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 68, n. 3, p. 1053-1058, 1990.
- DRAPER, S.B.; WOOD, D.M.; FALLOWFIELD, J.L. The VO₂ response to exhaustive square wave exercise: influence of exercise intensity and mode. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 90, n. 1, p. 92-99, 2003.
- DRAPER, S.B.; WOOD, D.M. The VO₂ response for an exhaustive treadmill run at 800-m pace: a breath-by-breath analysis. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 93, n. 1, p. 381-389, 2005.
- DUFFIELD, R.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. Belconnen, *J. Sci. Med. Sport.*, v. 7, n. 3, p. 302-313, 2004a.
- DUFFIELD, R., DAWSON, B.; GOODMAN, C. Energy system contribution to 400 m and 800 m track running. London, *J. Sport. Sci.*, 2004b.
- DUFFIELD, R.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. (2005) Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. London, *J. Sport. Sci.*, v. 23, n. 1, p. 299–307, 2005.
- ENGELN, M Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. London, *J. Appl. Physiol.*, v. 81, n. 6, p. 2500-2508, 1996.
- ENGFRED K, KJAER M, SECHER NH, FRIEDMAN DB, HANEL B, NIELSEN OJ, BACH FW, GALBO H, LEVINE BD (1994). Hypoxia and training-induced adaptation of hormonal responses to exercise in humans. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 68, n. 1, p. 303-309, 1994.
- ERIKSSON, B.; GOLLNICK, P.; SALTIN, B. Muscle metabolism and enzym activities after training in boys 11-13 years old. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 87, n. 1, p. 485-497, 1973.
- FERRETTI, G.; MOIA, C.; THOMET, J.M.; KAYSER, B. The decrease of maximal oxygen consumption during hypoxia in man: a mirror image of the oxygen equilibrium curve. London, *J. Physiol.*, v. 498, n.1, p. 231-237, 1997.
- FERRO A.; RIVERA A.; PAGOLA I.; FERRERUELA M.; MARTIN A.; ROCANDIO V. Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. Monaco, *New. Stud. Athl.*, v.16, n. 1, p. 25-60, 2001.
- FOSTER, C.; SNYDER, A.C.; THOMPSON, N.N.; GREEN, M.A.; FOLEY, M.; SCHRAGER, M. Effect of pacing strategy on cycle time trial *performance*. Hagerstown, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, v. 25, n.1, p. 383-388, 1993.
- FOSTER, C.; SCHRAGER, M.; SNYDER, A. C.; THOMPSON, N. N. Pacing strategy and athletic performance. Auckland, *Sports. Med.*, v. 17, n. 2, p. 77-85, 1994.
- FOSTER, C.; DE KONING, J.J.; HETTINGA, F.; et al. Effect of competitive distance

- on energy expenditure during simulated competition. Stuttgart, *Int. J. Sport. Med.*, v. 25, n.1, p. 198-204, 2004.
- FRIEDMANN, B.; FRESE, F.; MENOLD, E.; BARTSCH, P. Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 101, n. 1, p. 67-73, 2007.
- GAESSER, G.A. & POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. Baltimore, *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, v. 24, p.35-70, 1996.
- GAJER, B.; HANON, C.; MARAJO, J.; VOLLMER, J.C. Le 800 mètres: Analyse descriptive et entraînement. Paris: Edition INSEP±Federation Française d Athlétisme, Collection Entraînement, 2001.
- GARLAND, S.W. An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000 m rowing. London, *Br. J. Sport. Med.* v. 39, n. 1, p. 39-42, 2005.
- GASTIN, P. B. Quantification of anaerobic capacity. Copenhagen, *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, v. 4, p. 91-112, 1994.
- GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Auckland, *Sport. Med.*, v. 31, no. 10, p. 725-741, 2001.
- GAVIN, T. P.; DERCHAK, P. A.; STAGER, J. M. Ventilation's role in the decline in VO₂max and SaO₂ in acute hypoxic exercise. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 30, n. 2, p. 195-199, 1998.
- GERBINO, A.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 80, n.1, p. 99-107, 1996.
- GIBSON, A. S. C.; SCHABORT, E. J.; NOAKES, T. D. Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling. Bethesda, *Am. J. Physiol-Reg. Integr. Comp. Physiol.*, 281(1), R187-R196.
- GOLLNICK, P.; ARMSTRONG, R.; SALTIN, B.; SAUBERT, C.; SEMBROWICH, W.; SHEPHERD, R. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 34, n. 1, p. 107- 111, 1973.
- GONZALEZ, N.C.; CLANCY, R.L.; MOUE, Y.; RICHALET, J.P. Increasing maximal heart rate increases maximal O₂ uptake in rats acclimatized to simulated altitude. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 84, n. 1, p. 164-168, 1998.
- GRANIER P, MERCIER, B.; MERCIER, J.; ANSELME, F.; PREFAUT, C. Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test *performance* in sprint and middle-distance runners. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 70, n. 1, p. 58–65, 1995.
- GRASSI, B.; POOLE, D. C.; RICHARDSON, R. S.; KNIGHT, D. R.; ERICKSON, B. K.; WAGNER, P. D. Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 80, n. 3, p. 988-998, 1996.
- GRASSI, B.; POGGIAGHI, S.; RAMPICHINI, S.; QUARESIMA, V.; FERRARI, M.; MARCONI, C.; CERRETELLI, P. Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v.95, p.149-158, 2003.
- GRASSI, B.; ROSSITER, H. B.; ZOLADZ, J. A. Skeletal muscle fatigue and decreased efficiency: two sides of the same coin?. New York, *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, v. 43, n. 2, p. 75-83, 2015.
- GREEN, S.; DAWSON, B. Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. Auckland, *Sport. Med.*, v. 15, n. 1, p. 312–327, 1993.
- GUGLIELMO, L. G. A.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Relação da potência aeróbica máxima e da força muscular com a economia de corrida em atletas de *endurance*. São Paulo, *Rev. Bras. Med. Esporte.*, v. 11, p. 53-6, 2005.
- GUYTON, A.; HALL, J. *Tratado de fisiología médica*. 12 ed. Amsterdã, Elsevier Saunders, 2011.

- HAMADA, T.; SALE, D. G.; MACDOUGALL, J. D. Postactivation Potentiation in Endurance-trained Male Athletes. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 32, n. 3, p. 403-411, 2000.
- HANON C.; LEVEQUE, J.M.; VIVIER L.; THOMAS, C. Time course of velocity and oxygen uptake during 1500-m realized with a strategy of best chronometric performance. Monaco, *N. Stud. Athl.*, v. 22, n. 1, p. 115– 122, 2007.
- HANON, C.; LEVEQUE, J.M.; THOMAS, C.; VIVIER, L. Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. Stuttgart, *Int. J. Sports. Med.*, v. 29, n. 1, p. 206–211, 2008.
- HANON C.; GAJER, B. Velocity and stride parameters of worldclass 400-meter athletes compared with less experienced runners. Colorado Springs, *J. Strength. Cond. Res.*, v. 23, n. 2, p. 524–531, 2009.
- HANON, C.; LEPRETRE, P. M.; BISHOP, D.; THOMAS, C. Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. Heidelberg, *Eur J. Appl. Physiol.*, v. 109, n. 2, p. 233-240, 2010.
- HANON, C.; THOMAS, C. Effects of optimal pacing strategies for 400-, 800-, and 1500-m races on the [Vdot] O₂ response. London, *J. Sports. Sci.*, v. 29, n. 9, p. 905-912, 2011.
- HANSEN, CASABURI, R.; COOPER, D. M.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 57, n. 2, p. 140-145, 1988.
- HARGREAVES, M. Fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology is systems biology. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 104, n. 5, p. 1541-1542, May 2008
- HENNEMAN, E; CLAMANN, H.P.; GILLIES, J.D.; SKINNER, R.D.J. Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. Bethesda, *J. Neurophysiol.*, v. 37, n. 6, p. 1338-1349, 1974.
- HETTINGA, F. J.; de KONING, J. J.; BROERSEN, F. T.; VAN GEFFEN, P. A. U. L.; FOSTER, C. A. R. L. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. Hagerstown, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, v. 38, n. 8, p. 1484, 2006.
- HILL, D. W. The critical power concept. Auckland, *Sports. Med.*, v. 16, n. 4, p. 237-254, 1993.
- HILL, D.W.; ROWELL, A.L. Responses to exercise at the velocity associated with VO₂ max. Hagerstown, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, v. 29, p. 113-116, 1997.
- HILL, D.W.; FERGUSON, C.S.; EHLER, K.L. An alternative to determine maximal accumulated O₂ deficit in runners. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 79, n. 1, p. 114-117, 1998.
- HILL, D.W. Energy system contributions in middle-distance running events. Abingdon, *J. Sport. Sci.*, v. 17, n. 1, p. 477-83, 1999.
- HOLLOSZY, J. O.; E. F. COYLE. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 56, n. 4, p. 831-838, 1984.
- HOPPELER, H. Vascular growth in hypoxic skeletal muscle. New York, *Adv. Exp. Med. Biol.*, v. 474, n. 1, p. 277-286, 1999.
- HOPPELER, H. et al. Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. London, *Exp. Physiol.*, v. 88, n. 1, p. 109-119, 2003.
- HOWALD H, PETTE D, SIMONEAU J, UBER A, HOPPELER H, CERRETELLI P. Effects of chronic hypoxia on muscle enzyme activities. Stuttgart, *Int. J. Sports. Med.*, v. 11, n. S 1, p. S10-S14, 1990.
- HIRVONEN, J.; NUMMELA, A.; RUSKO, H.; REHUNEN, S.; HÄRKÖNEN, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. Downsview, *Can. J. Sport. Sci.*, v. 17, n. 2, p. 141-144, 1992.

- HURLEY, B. F.; HAGBERG, J. M.; ALLEN, W. K.; SEALS, D. R.; YOUNG, J. C.; CUDDIHEE, R. W.; HOLLOSZY, J. O. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 56, n. 5, p. 1260-1264, 1984.
- INGEN, S, G.J.; de KONING, J.J.; de GROOT, G. Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. Auckland, *Sports. Med.*, v. 17, n. 4, p. 259-275, 1994.
- JACKMAN MR, WILLIS WT. Characteristics of mitochondria isolated from type I and type IIb skeletal muscle. Bethesda, *Am. J. Physiol.*, v. 270, n. 2, p. C673-C678, 1996.
- JONES, A.M.; KOPPO, K.; BURNLEY, M. Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. Auckland, *Sports. Med.* v. 33, n. 13, p. 949-971, 2003.
- JONES AM, POOLE DC. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth-an introduction to the symposium. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 37, n. 9, p. 1542-1550, 2005.
- JONES, A. M.; WILKERSON, D. P.; DIMENNA, F.; FULFORD, J.; POOLE, D. C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using ³¹P-MRS. Bethesda, *Am. J. Physiol-Reg. Integr. Comp. Physiol.*, v. 294, n. 2, p. R585-R593, 2008.
- JONES A.M.; BURNLEY, M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. Champaign, *Int. J. Sports. Phys. Perf.*, v. 4, n. 4, 2009.
- JONES, A.M.; GRASSI, B.; CHRISTENSEN, P.M.; KRUSTRUP, P.; BANGSBO, J.; POOLE, D.C. Slow Component of VO₂ Kinetics: Mechanistic Bases and Practical Applications. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v.43, n. 11, p. 1-17, 2011.
- JONES, A. M.; POOLE, D. C. *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. Routledge, 2013.
- JUBRIAS, S; CROWTHER, G. J.; SHANKLAND, E. G.; GRONKA, R. K.; CONLEY, K. E. Acidosis inhibits oxidative phosphorylation in contracting human skeletal muscle in vivo. Stanford, *J. Physiol.*, v. 553, n. 2, p. 589-599, 2003.
- KARLSSON, J., L.-O., NORDESJO, L. JORFELDT, AND B. SALTIN. Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. Stanford, *J. Appl. Physiol.* v. 33, n. 2, p. 199-203, 1972.
- KENNEDY, M.D.; BELL, G.J. Development of race profiles for performance of a simulated 2000-m rowing race. Ottawa, *Can. J. Appl. Physiol.*, v. 28, n. 4, p. 536-546, 2003.
- KINDERMANN, W.; KEUL, J.; HUBER, G. Physical exercise after induced alkalosis (bicarbonate or tris-buffer). Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 37, n. 3, p. 197-204, 1977.
- KOVRT, W.M.; O'CONNOR, J.S.; SKINNER, J.S. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 21, n. 5, p. 569-575, 1989.
- KOISTINEN, P.; TAKALA, T.; MARTIKKALA, V.; LEPPÄLUOTO, J. Aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. New York, *Int. J. Sports. Med.*, v. 16, n. 02, p. 78-81, 1995.
- KOMI, P. V. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1992.
- KOMI, P. V. *Força e potência no esporte*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- KOPPO, K; BOUCKAERT, J.; JONES, A. M. Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 36, n. 2, p. 225-232, 2004.
- LACOUR, J. R.; BOUVAT, E.; BARTHELEMY, J. C. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 61, n. 3-4, p. 172-176, 1990.

- LEVINE, B.D.; STRAY-GUNDERSEN, J. Living high-training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 83, n. 1, p. 102-112, 1997
- LINDSAY, F. H.; HAWLEY, J. A.; MYBURGH, K. H.; SCHOMER, H. H.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 28, p. 1427-1434, 1996.
- LOEPPKY, J. A.; ICENOGLE, M.; SCOTTO, P.; ROBERGS, R.; HINGHOFER-SZALKAY, H.; ROACH, R. C. Ventilation during simulated altitude, normobaric hypoxia and normoxic hypobaria. *Resp. Physiol.*, v. 107, n. 3, p. 231-239, 1997.
- LONDEREE, BEN R. The use of laboratory test results with long distance runners. Auckland, *Sports. Med.*, v. 3, n. 3, p. 201-213, 1986.
- LUHTANEN, P.; RAHKILA, P.; RUSKO, H.; VIITASALO, J. T. Mechanical work and efficiency in ergometer bicycling at aerobic and anaerobic thresholds. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 131, n. 3, p. 331-337, 1987.
- LUHTANEN, P.; RAHKILA, P.; RUSKO, H.; VIITASALO, J. T. Mechanical work and efficiency in treadmill running at aerobic and anaerobic thresholds. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 139, n. 1-2, p. 153-159, 1990.
- MACRAE, H. S.; DENNIS, S. C.; BOSCH, A. N.; NOAKES, T. D. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 72, n. 5, p. 1649-1656, 1992..
- MAIRBÄURL, H. Red blood cell function in hypoxia at altitude and exercise. New York, *Int. J. Sports. Med.*, v. 15, n. 02, p. 51-63, 1994.
- MARGARIA, R.; CERRETELLI, P.; MANGILI, E. Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 19, n. 4, p. 623-628, 1964.
- MARGARIA, R. Energy source for aerobic and anaerobic work. *In: Exercise at Altitude*, edited by R. Margaria. Amsterdam: Excerpta Medica Foundation, 1967, pp. 15-32.
- MARGARIA, R. M.; OLIVA, R. D.; DI PRAMPERO, P. E.; P, CERRETELLI. Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 26, n. 6, 1969.
- MARONSKI, R. Minimum time running and swimming: an optimal control approach. Philadelphia, *J. Biomech.* v. 29, n. 2, p. 245-9, 1996.
- MARTIN, D.; O'KROY, J. Effects of acute hypoxia on the V O₂ max of trained and untrained subjects. London, *J. Sports. Sci.*, v. 11, n. 1, p. 37-42, 1993.
- MATTERN, C.O.; KENEFICK, R.W.; KERTZER, R.; QUINN, T.J. Impact of starting strategy on cycling performance. New York, *Int. J. Sports. Med.*, v. 22, n. 05, p. 350-355, 2001.
- MCARDLE, WILLIAN D.; KATCH, FRANK I.; KATCH, VICTOR L. *Fisiologia do exercício*. 4 ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 1998.
- MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. *Fisiologia do Exercício, Energia, Nutrição e Desempenho Humano*. 5 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2003.
- MCDERMOTT, J. C.; BONEN, A. Endurance training increases skeletal muscle lactate transport. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 147, n. 3, p. 323-327, 1993.
- MCLELLAN, T.M.; KAVANAGH, M.F.; JACOBS, I. The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 60, n. 2, p. 155-161, 1990.
- MEEUWSEN, T.; HENDRIKSEN, I.J.M.; HOLEWIJIN, M. Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 84, n. 4, p. 283-290, 2001.
- MIYAZAKI, S.; SAKAI, A. The effect of "living high-training low" on physical performance in rats. Amsterdam, *Int. J. Biometeorol.*, v. 44, n. 1, p. 24-30, 2000.
- MORGAN, D.; CRAIB, M. Physiological aspects of running economy. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 24, n. 1, p. 456-61, 1992.

- MORITANI, T.; SHERMAN, W. M.; SHIBATA, M.; MATSUMOTO, T.; SHINOHARA, M. Oxygen availability and motor unit activity in humans. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 64, n. 6, p. 552-556, 1992.
- MORTENSEN, S.P.; GONZALEZ-ALONSO, J.; DAMSGAARD, R.; SALTIN, B.; HELLSTEN, Y. Inhibition of nitric oxide and prostaglandins, but not endothelial-derived hyperpolarizing factors, reduces blood flow and aerobic energy turnover in the exercising human leg. London, *J. Physiol.*, v. 581, n. 1, p. 853-861, 2007.
- MURGATROYD, S.R.; FERGUSON, C.; WARD, S.A.; WHIPP B.J.; ROSSITER H.B. Pulmonary O₂ uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 110, n. 6, p. 1598-1606, 2011.
- NOAKES, T.D.; ST CLAIR, G., A. Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. London, *Br. J. Sports. Med.* v. 38, n. 5, p. 648-9, 2004.
- NOAKES, T.D.; ST CLAIR, G.; LAMBERT, E.V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. London, *Br. J. Sports. Med.* v. 39, n. 2, p.120-4, 2005.
- NUMMELA, A.; VUORIMAA, T.; RUSKO, H.K. Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. London, *J. Sports. Sci.*, v.10, p. 217-228, 1992.
- NUMMELA, A.; MERO, A.; STRAY-GUNDERSEN, J.; RUSKO, H. Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. New York, *Int. J. Sport. Med.*, v. 17, S91-6, 1996.
- NUMMELA, A. R. I.; RUSKO, H. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. London, *J. Sports. Sci.*, v. 18, n. 6, p. 411-419, 2000.
- OGAWA, T.; OHBA, K.; NABEKURA, Y.; NAGAI, J.; HAYASHI, K.; WADA, H.; NISHIYASU, T. Intermittent short-term graded running performance in middle-distance runners in hypobaric hypoxia. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 94, n. 3, p. 254-261, 2005.
- OLSON, C.B.; CARPENTER, D.O.; HENNEMAN, E. Orderly recruitment of muscle action potentials. Chicago, *Arch. Neurol.*, v. 19, p. 591-597, 1968.
- ORTIZ, M.J.; STELLA, S.G.; MELLO, M.T.; DENADAI, B.S. Efeitos do treinamento aeróbio de alta intensidade sobre a economia de corrida em corredores de *endurance*. São Paulo, *Rev. Bras. Ciênc. Mov.*, v. 11, p. 53-56, 2003.
- ÖZYENER, F.; ROSSITER, H. B.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Influence of exercise intensity on the on-and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. STANFORD, *J. PHYSIOL.*, V. 533, N. 3, P. 891-902, 2001.
- PIRES, F. O.; LIMA-SILVA, A. E.; BERTUZZI, R.; CASARINI, D. H.; KISS, M. A. P.; LAMBERT, M. I.; NOAKES, T. D. The influence of peripheral afferent signals on the rating of perceived exertion and time to exhaustion during exercise at different intensities. Baltimore, *Psychophysiol.*, v. 48, n. 9, p. 1284-1290, 2011
- POOLE, D. C.; WARD, S. A., GARDNER, G. W., WHIPP, B. J. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. London, *Ergonomics*, v. 31, n. 9, p. 1265-1279, 1988.
- POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, v. 59, n. 6, p. 421-429, 1990.
- POOLE, D.C.; BARSTOW, T. J.; MCDONOUGH, P.; JONES, A. M. Control of oxygen uptake during exercise. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 40, n. 3, p. 462, 2008.
- POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. *Fisiologia do Exercício*. 5 ed. São Paulo: Manole, 2006. 598 p.

- Di PRAMPERO, P.E.; CAPELLI, C., PAGLIARO, P. Energetics of best *performances* in middle-distance running. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 74, n. 5, p. 2318-24, 1993.
- RAMSBOTTOM, R.; NEVILL, A. M.; NEVILL, M. E.; NEWPORT, S.; WILLIAMS, C. Accumulated oxygen deficit and short-distance running *performance*. London, *J. Sports. Sci.*, v. 12, p. 447-53, 1994.
- REIS, V. M. Avaliação e controlo do treino nas corridas de meio fundo e fundo. Ribeira de Pena, *Motricidade*, v. 1, n. 1, p. 54-61, 2005.
- ROBERGS, R.A.; QUINTANA, R.; PARKER, D.L.; FRANKEL, C.C. Multiple variables explain the variability in the decrement in VO₂max during acute hypobaric hypoxia. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v.30, p. 869-879, 1998.
- ROSS, A.; LEVERITT, M.; RIEK, S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. Auckland, *Sports. Med.*, v. 31, n. 6, p. 409-25, 2001.
- ROSSI, L. P.; BRANDALIZE, M. Pliometria aplicada à reabilitação de atletas. Guarapuava, *Revi. Salus.*, v. 1, n. 1, p. 77-85, 2007.
- ROSSITER, H.B. Exercise: kinetic considerations for gas exchange. Bethesda, *Compr. Physiol.*; v.1, n. 1, p. 203Y44, 2011.
- SAHLIN, K., TONKONOJI, M., SÖDERLUND, K. Energy supply and muscle fatigue in humans. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 162, n. 3, p. 261-266, 1998.
- SALE, D. Neural adaptation to strength training. In: *Strength and Power in Sports*. The Encyclopedia of Sports Medicine, Oxford, Blackwell, p. 249–265, 1991.
- SALTIN, B.; NAZAR, K.; COSTILL, D.L.; STEIN, E.; JANSSON, E.; ESSÉN, B.; GOLLNICK, P.D. The nature of training response; peripheral and central adaptations to one-legged exercise. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 96, p. 289-305, 1976.
- SALTIN, B.; KIM, C.K.; TERRADOS, N.; LARSEN, H.; SVEDENHAG, J.; ROLF, C.J. Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. Copenhagen, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, v. 5, n. 1, p. 222–230, 1995.
- SAUGEN, E.; VOLLESTAD, N. K. Nonlinear relationship between heat production and force during voluntary contractions in humans. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 79, n. 6, p. 2043-2049, 1995.
- SINGH, S.N.; VATS, P.; KUMRIA, M.M.; RANGANATHAN, S.; SHYAM, R.; ARORA, M.P.; JAIN, C.L.; SRIDHARAN, K. Effect of high altitude (7,620 m) exposure on glutathione and related metabolism in rats. Heidelberg, *Eur. J. Appl. Physiol.* v. 84, p. 233-237, 2001.
- SODERLUND, K.; HULTMAN, E. ATP and phosphocreatine changes in single human muscle fibers following intense electrical stimulation. Bethesda, *Am. J. Physiol.*, v. 261, E737±E741, 1991.
- SPENCER, M.R.; GASTIN, P.B. Energy system contribution during 200 to 1500m running in highly trained athletes. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 33, n. 1, p.157-62 90, 2001.
- SPENCER, M.R.; GASTIN, P.B.; PAYNE, W.R. Energy system contribution during 400 to 1500 metres running. Monaco, *New. Stud. Athlet.*, v. 11, n. 4, p. 59-65, 1996.
- SQUIRES, R. W.; BUSKIRK, E. R. Aerobic capacity during acute exposure to simulated altitude, 914 to 2286 meters. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 14, n. 1, p. 36-40, 1981.
- SVEDENHAG, J.; SALTIN, B.; JOHANSSON, C.; KAIJSER, L. Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. Copenhagen, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, v. 1, p. 205–214, 1991.
- SWAIN, D.P. A model for optimizing cycling *performance* by varying power on hills and in wind. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 29, n.8, p.1104-8, 1997.
- TAKASE, K.; NISHIYASU, T.; ASANO, K. Modulating effects of the menstrual cycle on cardiorespiratory responses to exercise under acute hypobaric hypoxia. Tokyo, *Jpn. J. Physiol.*, v. 52, n. 6, p. 553-560, 2002.

- THOMAS, C.; HANON, C.; PERREY, S.; LE CHEVALIER, J. M.; COUTURIER, A.; VANDEWALLE, H. Oxygen uptake response to an 800-m running race. New York, *Int. J. Sports. Med.*, v. 26, n. 04, p. 268-273, 2005.
- TUCKER, Ross et al. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. Berlin, *Pflügers. Archiv.*, v. 448, n. 4, p. 422-430, 2004.
- TUCKER, R.; LAMBERT, M. I.; NOAKES, T. D. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. Champaign, *Int. J. Sports. Physiol. Perfor.*, v.1 n. 3, p. 233, 2006.
- TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. Loughborough, *Br. J. Sports. Med.*, v. 43, n. 6, p. 392-400, 2009.
- TURNES, T.; SALVADOR, A.F.; LISBÔA, F.D.; De AGUIAR, R.A.; CRUZ, R.S.; CAPUTO, F. A fast-start pacing strategy speeds pulmonary oxygen uptake kinetics and improves supramaximal running performance. San Francisco, *PLoS One*. v. 9, n.10, p. 111621, 2014.
- UFLAND, P; AHMAIDI, S; BUCHHEIT, M. Repeated-sprint performance, locomotor profile and muscle oxygen uptake recovery: effect of training background. New York, *Int. J. Sports. Med.* v. 34, n.10, p. 924–30, 2013.
- VOGT, M.; PUNTSCHART, A.; GEISER, J.; ZULEGER, C.; BILLETER, R.; HOPPELER, H. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 91, n. 1, p. 173182, 2001.
- VOLLESTAD, N.K.; BLOM, P.C.S. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers. Stockholm, *Acta. Physiol. Scand.*, v. 125, p. 395-405, 1985.
- XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. Auckland, *Sports. Med.* v. 27, n.5, p. 313-27, 1999.
- ZAMPARO, P.; BONIFAZI, M.; FAINA, M.; MILAN, A.; SARDELLA, F.; SCHENA, F., CAPELLI, C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 94, n. 5-6, p. 697-704, 2005.
- ZOLADZ, J.A.; GLADDEN, L.B.; HOGAN, M.C.; NIECKARZ, Z.; GRASSI, B. Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the slow component of VO₂ kinetics. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 105, 575Y80. 41, 2008.
- WALTER R, MAGGIORINI M, SCHERRER U, CONTESSE J, REINHART WH. Effects of high-altitude exposure on vascular endothelial growth factor levels in man. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 85, p. 113-117, 2001.
- WASSERMAN, K.; HANSEN, J.E.; SUE, D.Y.; STRINGER, W.W.; SIETSEMA, K.E.; SUN, X.G.; WHIPP, B.J. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: including pathophysiology and clinical applications*. 5 ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
- WENDT, I. R.; GIBBS, C. L. Energy production of rat extensor digitorum longus muscle. Bethesda, *Am. J. Physiol.*, v. 224, n. 5, p. 1081-1086, 1973.
- WESTON, A. R.; MBAMBO, Z.; MYBURGH, K. H. Running economy of African and Caucasian distance runners. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 32, n. 6, p. 1130-1134, 2000.
- WEYAND, P. G.; LEE, C. S.; MARTINEZ-RUIZ, R.; BUNDLE, M. W.; BELLIZZI, M. J.; WRIGHT, S. High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 86, n. 6, p. 2059-2064, 1999.
- WHIPP, B.J.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. Stanford, *J. Appl. Physiol.*, v. 33, no. 3, p. 351-356, 1972.
- WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; ROSSITER, H.B. Pulmonary O₂ uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. Hagerstown, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 37, n.9, p.1574-85, 2005.

WILMORE, J.H; COSTILL, D. L. *Fisiologia do esporte e do exercício*. Barueri. 2 ed. Manole, v. 2, p. 28-51, 2000.

