

TESTES DE ESFORÇO EM CAVALOS: ÍNDICES ÚTEIS AO AJUSTE DO TREINAMENTO

(Exercise testing in horses: useful tools for training adjustment)

Paulo Moreira Bogossian¹; Tiago Marcelo Oliveira²; Ayrton Rodrigo Hilgert¹; Wilson Roberto Fernandes³

¹Programa de Pós-Graduação em Clínica Veterinária da Universidade de São Paulo (USP), Avenida Prof. Dr. Orlando Marques de Paiva, 87, São Paulo, SP; ²Faculdade Anhanguera Santo André, SP;

³Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Dpto Clínica Médica da USP, São Paulo.

RESUMO

A capacidade de se adaptar ao treinamento é bastante variável entre cavalos, submetidos a um mesmo programa de treinamento físico. O ajuste das cargas de treinamento, segundo a resposta individual, se faz essencial, para que os cavalos possam desenvolver seus potenciais atléticos com o mínimo de estresse e risco de lesões. Há diversos testes ergométricos e variáveis úteis ao monitoramento da resposta fisiológica ao treinamento e ao controle da intensidade do exercício, como a concentração plasmática de lactato, o consumo máximo de oxigênio e a frequência cardíaca. Alguns estudos têm demonstrado que a adaptação cardiorrespiratória em cavalos sofre maior influência do volume do treinamento, do que da intensidade do mesmo. Ao mesmo tempo, há alterações relacionadas à respiração mitocondrial e à capacidade de tamponamento, importantes à manutenção do exercício de moderada a alta intensidade, que são resultantes dos treinamentos de alta intensidade. Características inerentes ao animal, como a máxima frequência cardíaca, o consumo máximo de oxigênio e a concentração de hemoglobina podem constituir importantes limites ao rendimento. O presente estudo tem por objetivo apresentar ferramentas úteis ao ajuste do treinamento esportivo em cavalos e analisar comparativamente a resposta fisiológica ao treinamento em cavalos e atletas humanos.

Palavras-chave: cavalos atletas, desempenho; condicionamento; lactato; frequência cardíaca; consumo de oxigênio.

ABSTRACT

The concept of variation in the ability to respond to exercise training and its relationship with athletic performance have been studied in horses and humans. Training adjustment may be a useful tool to reduce exercise-induced stress in horses during long-term training programs. Several tests and variables have been used to monitor physiological adaptations to exercise training, such as lactate, maximum oxygen uptake and heart rate. High training volume have been related to increase cardiorespiratory fitness rather than high intensities training programs, however there are cellular adaptations as buffering capacity and

¹Endereço para correspondência:

pmbogossian@gmail.com

mitochondrial respiration which are reached with increased intensity exercise training. Inherent characteristics of the horse may be important limitations to training induced physiological adaptations, as the maximal heart rate, maximal oxygen uptake, and hemoglobin content. The aim of this review is to present useful tools to training adjustment in athletic horses, and a comparative analyses of physiological basis of training in horses and humans.

Key words: fitness; performance; lactate; heart rate; oxygen uptake

INTRODUÇÃO

O cavalo contemporâneo apresentou inúmeras e notáveis adaptações ao exercício, tais como uma alta capacidade aeróbica e anaeróbica e uma eficiente locomoção, que constituíram as bases físicas e fisiológicas da sua aptidão atlética (JONES *et al.*, 1989; LAWSON e MARLIN, 2010; LOVEL e ROSE, 1993). Uma alta capacidade de se adaptar ao treinamento, especialmente no que tange à especialização estrutural e bioenergética da musculatura esquelética (CROOK *et al.*, 2008; QUIROZ-ROTHER e RIVERO, 2001), permitiu que tais aptidões fossem desenvolvidas, por meio de programas específicos de treinamento físico.

Há diversos tipos de treinamento já identificados em cavalos, tais como o treinamento básico, extremo, *sprint*, intervalado, técnico, *cross-training* e regenerativo e, ao mesmo tempo, variáveis fisiológicas úteis à avaliação do condicionamento físico: consumo máximo de oxigênio, máximo déficit acumulado de

oxigênio, economia de movimento, limiar de lactato e frequência cardíaca (EVANS, 2000). As sessões de exercício contínuo de baixa a moderada intensidades, reconhecidas como treinamento de *endurance*, de forma geral, alteraram variáveis relacionadas às adaptações aeróbicas (VO_{2max} e VLa_{44}) em cavalos Puro-Sangue-Inglês de corrida (EVANS *et al.*, 1995); enquanto que as sessões que envolveram exercício de alta intensidade puderam elevar, também, a capacidade anaeróbica (HINCHCLIFF *et al.*, 2002).

A resposta a um determinado protocolo de treinamento, em um determinado número de animais ou de humanos, pode ser bastante variável (BOUCHARD, 2012). Em cavalos, há evidências recentes de que alterações na frequência de alelos de genes, relacionados à hipertrofia muscular e ao metabolismo energético, puderam influenciar a resposta ao treinamento e a performance de cavalos de esporte (HILL *et al.*, 2010; REGATIERI *et al.*, 2016). A individualização do treinamento pode ser, também, uma estratégia de prevenção de

lesões do aparelho locomotor, uma vez que a fadiga muscular, frequentemente induzida pelo treinamento exaustivo, esteve relacionada com lesões em estruturas musculoesqueléticas específicas de interesse clínico e econômico (BUTCHER *et al.*, 2007).

O objetivo do presente estudo é revisar variáveis úteis ao ajuste e individualização do treinamento em cavalos atletas e estabelecer uma comparação das bases fisiológicas do treinamento entre cavalos e seres humanos.

DESENVOLVIMENTO

Testes de esforço

Os testes de esforço são também chamados de testes ergométricos e são utilizados para a avaliação das respostas funcionais e fisiológicas do cavalo ao exercício. A necessidade das avaliações feitas durante o exercício se baseiam no pressuposto de que as medidas fisiológicas obtidas em repouso, i.e.: frequência cardíaca, consumo de oxigênio e na concentração plasmática de lactato, dentre outros parâmetros não são suficientemente sensíveis para a avaliação do condicionamento físico. Os testes de esforço foram divididos em duas categorias principais: testes clínicos

(ALLEN *et al.*, 2011) e testes de desempenho (EVANS, 2007; MUNSTERS *et al.*, 2014) e puderam ser realizados em esteira rolante ou a campo.

Os testes realizados em esteira rolante permitiram um alto grau de controle das variáveis externas (relativa ao ambiente) e apresentam alta precisão, quanto à descrição de determinados eventos fisiológicos, frente ao estímulo do exercício. Por outro lado, os testes realizados a campo permitiram que os animais exercitem-se, conforme o gesto específico da modalidade equestre à qual se destinam (BARREY e VALETTE, 1993). Nesses testes, influências ambientais importantes puderam ser levadas em consideração, tais como o piso, a equitação (ALLEN *et al.*, 2011; OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN e BARNEVELD, 1995) e as condições climáticas. Os testes de esforço, focados na avaliação do desempenho, puderam ser utilizados com os seguintes objetivos: comparação de animais em treinamento; monitoração dos indivíduos durante um ciclo esportivo; individualização do treinamento e prevenção de lesões (ALLEN *et al.*, 2016; MARLIN, 2015).

Em um artigo de revisão, recentemente publicado, Munsters *et al.* (2014) concluíram que há um lugar para os testes de esforço a campo em cavalos atletas, pertencentes às disciplinas

clássicas, como adestramento e salto; bem como para os cavalos de corrida, enduro e trote (MUNSTERS *et al.*, 2014).

Alguns índices fisiológicos, obtidos em testes de esforço serão discutidos abaixo.

Consumo de oxigênio (VO_2)

Um cavalo contemporâneo apresenta alta capacidade aeróbica, ou seja, ele é capaz de utilizar grandes volumes de oxigênio durante o exercício, quando comparado às demais espécies de mamíferos (JONES *et al.*, 1989). Em cavalos Puro-Sangue-Inglês de corrida, o máximo volume de oxigênio consumido pode ser superior a 180 ml/kg/min, o que correspondeu ao dobro dos valores observados em seres humanos (aproximadamente 80 mL/kg/min) (HODGSON *et al.*, 2014; MCGOWAN e MCKEEVER, 2014). A alta capacidade de utilização de O_2 pelos cavalos se deveu a inúmeras adaptações nos sistemas cardiovascular e respiratório, dentre as quais se destacou a capacidade de transporte de oxigênio.

O hematócrito de atletas humanos mantém-se aproximadamente igual a 40% e eleva-se, discretamente, durante o exercício. Em contraste, os cavalos apresentaram uma incrível capacidade de liberar grandes quantidades

de hemácias na circulação, durante o exercício, através da contração esplênica (HODGSON *et al.*, 2014). Em exercícios de alta intensidade, o volume globular pode elevar-se de valores basais (35%), até valores correspondentes a 70%, aumentando consideravelmente a capacidade de transporte de O_2 durante o exercício (HODGSON *et al.*, 2014). O volume de fibra muscular ocupada por mitocôndrias (V_{max}) também foi superior nos cavalos (7%), quando comparado aos seres humanos (2-5%), o que tornou os músculos esqueléticos dos equinos mais eficientes em extrair o oxigênio transportado (HOPPELER *et al.*, 1987).

Em cavalos da raça Puro-Sangue-Inglês, o consumo máximo de oxigênio pareceu relacionar-se diretamente com o volume e a massa do ventrículo esquerdo. Um estudo mostrou correlação positiva entre o VO_{2max} e o diâmetro interno do ventrículo esquerdo ($r = 0,71$) e a massa do VE ($r = 0,78$), em cavalos de Turfe (YOUNG *et al.*, 2002), corroborando com a hipótese prévia de que o fluxo sanguíneo determinado pela função cardiovascular seria o principal fator de influência no consumo máximo de oxigênio, em cavalos treinados (EVANS e ROSE, 1988).

O VO_{2max} pode ser determinado em testes incrementais de esforço máximo em esteira (ROSE *et al.*, 1990) e campo (ART *et al.*, 2006). Em cavalos, observou-

se que o consumo de oxigênio aumentou rapidamente, em resposta ao aumento do ritmo de trabalho e, durante teste incremental, o exercício pode estender-se além do máximo consumo de oxigênio (ROSE *et al.*, 1990). Em humanos, esse comportamento do VO_2 , graficamente descrito como uma função linear seguida por um *plateau*, foi observado apenas em 50% dos casos, devido ao maior tempo necessário para se atingir o consumo máximo de oxigênio (BASSETT e HOWLEY, 2000).

A mensuração do consumo de oxigênio também permitiu o cálculo do gasto energético em ritmos de trabalho específicos, através do qual foi possível estimar-se a eficiência com que o cavalo se movimenta, frequentemente denominada economia de movimento (FORTIER *et al.*, 2015; HODGSON *et al.*, 2014). A economia de movimento é uma das principais características dos cavalos que participam de provas de longa distância, e, atualmente, pode ser mensurada durante testes a campo (FORTIER *et al.*, 2015).

O gasto energético referiu-se, não somente à capacidade aeróbica (consumo máximo de oxigênio), mas também à coordenação entre velocidade, ventilação e locomoção (COTTIN *et al.*, 2010). A coordenação entre a ventilação e a locomoção pareceu ser um aspecto

especialmente importante da eficiência do movimento, uma vez que o cavalo naturalmente acopla os ciclos de movimento aos ciclos de ventilação, durante o galope e, ocasionalmente, durante o trote (ART *et al.*, 1990; TAYLOR *et al.*, 1982). Como resultado, a quantidade de oxigênio utilizada para se realizar determinado trabalho pode ser inferior em cavalos com alta eficiência de movimento; sendo que, então, o exercício pode ser realizado utilizando-se fontes energeticamente mais eficientes, como os ácidos graxos livres, em vez de carboidratos e glicogênio muscular (COTTIN *et al.*, 2010).

Em um estudo com seres humanos, avaliando-se 742 indivíduos sedentários e saudáveis, que cumpriram um programa de treinamento de resistência em condições controladas por um período de 20 semanas, o programa de treinamento induziu aumento médio do consumo máximo de oxigênio de 400 mL/min (BOUCHARD, 2012). Num estudo prospectivo com cavalos de trote, observou-se que o treinamento influenciou mais discretamente no aumento do consumo máximo de oxigênio (15%) (TYLER *et al.*, 1996), quando comparado aos seres humanos. Em cavalos de corrida, esse efeito pareceu menos significativo, quando o grupo de animais treinados foi comparado a um grupo de idade

semelhante, exercitando-se livremente a pasto. Em outro estudo, conduzido por Ohmura *et al.* (2002), observou-se que não há diferença na distância total percorrida por cavalos em treinamento e a pasto. Notou-se, também, que a maior velocidade imprimida aos cavalos em treinamento não se traduziu em diferença no aumento do VO_{2max} , durante o primeiro ano de treinamento (OHMURA *et al.*, 2002).

A mensuração do consumo de O_2 pode ser utilizada para o cálculo do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD). O MAOD é uma medida indireta da capacidade de um determinado indivíduo produzir energia por vias metabólicas anaeróbicas. Trata-se da diferença entre demanda predita de O_2 e o VO_2 observada durante teste supra-máximo de carga fixa (EATON *et al.*, 1995). Houve evidência de que o treinamento de alta intensidade pode aumentar o déficit acumulado de oxigênio de cavalos *American Trotter* em 27% (HINCHCLIFF *et al.*, 2002).

Função pulmonar

O volume e fluxo respiratórios também tiveram influência sobre o desenvolvimento da atividade esportiva. Testes para avaliação têm sido descritos para identificar graus de

comprometimento da função pulmonar, adaptações a estímulos, assim como o exercício e investigar respostas ao tratamento de doenças pulmonares. Os testes de função pulmonar foram particularmente importantes para cavalos de corrida, porque uma menor eficiência no transporte de oxigênio e falhas na difusão através das vias aéreas limitaram a oferta de oxigênio para o músculo em exercício (EVANS, 2007).

Em equinos, o volume e fluxo de ar durante o exercício puderam ser aferidos por meio de máscaras com sensores, que captaram esses índices durante a respiração. Foi demonstrada na comparação entre uma nova tecnologia de ergoespirometria (QuadflowTM) e uma máscara de fluxo aberto, que essas mensurações puderam ser realizadas em animais, durante testes de esforço físico em esteira. Entretanto, foi observado um ligeiro aumento no lactato sanguíneo e frequência cardíaca nos animais com a QuadflowTM devido às 600g que esse aparelho tinha a mais, em relação à máscara de fluxo aberto, aumentando assim o esforço físico (CURTIS *et al.*, 2005).

Ainda, segundo Curtis *et al.* (2005), a máscara de espirometria QuadflowTM possuía sensores de fluxo de resolução para 0,1L/segundo, cuja leitura é realizada, continuamente, a cada 10

milissegundos; porém, o consumo de oxigênio não foi calculado. Kusano *et al.* (2007) padronizaram a escolha das ondas para análise, selecionando três ondas normais consecutivas, em 10 segundos de análise. A seleção dessas ondas excluía o que os autores chamaram de grandes ciclos respiratórios, que interfeririam na análise das ondas cíclicas e homogêneas. Os grandes ciclos respiratórios eram definidos como ciclos que tivessem o volume corrente 10% maiores que o ciclo anterior. Os autores concluíram que os ciclos respiratórios não deveriam ser selecionados aleatoriamente após o exercício, para análise de volume corrente, pois esses dados não foram completamente independentes, sendo necessário se trabalhar com mais de um ciclo respiratório.

Paradigmas envolvendo o metabolismo do lactato

A idéia de que o lactato poderia ser um marcador da intensidade do exercício foi introduzida no século XVIII, em estudos que observaram o seu acúmulo na circulação sanguínea de animais submetidos à hipóxia e a exercício extenuante (KARLSSON, 1971). O clássico estudo de Hills *et al.* (1924) estabeleceu que o aumento da concentração de lactato, após o exercício,

seria devido à falta de aporte adequado de oxigênio, para suprir a demanda energética necessária à contração muscular (HILL e LUPTON, 1923), o que foi mais tarde comprovado, através da observação de que tensões de O₂ inferiores a 0,5 Torr diminuíram a atividade da enzima citocromo-oxidase e, portanto, limitaram a fosforilação oxidativa (CONNETT *et al.*, 1990).

Entretanto, sabe-se atualmente que a hipóxia não é o único fator que estimula a glicólise. O acúmulo de lactato pode ocorrer por uma requisição aumentada da via glicolítica, independentemente a tensão de O₂, tal como em situações em que houve aumento da atividade da enzima lactato-desidrogenase (LDH), diminuição da relação ATP / ADP nas fibras musculares, dentre outros (GLADDEN, 2004)

A forma como o lactato foi transportado, célula a célula, é conhecida como *lactate shuttle* (BROOKS, 2002). Durante o exercício, especialmente nos realizados em moderada a alta intensidades, o lactato produzido foi transportado para fora das fibras musculares ativas, principalmente via transportadores monocarboxilatos (MCT-1) (KOHO *et al.*, 2006). Houve evidência de que durante exercício de baixa e moderada intensidade, pode haver um fluxo de lactato da circulação sanguínea

para os músculos estriados, o que significou que estes puderam ser sítios importantes de oxidação do lactato (ADEVA-ANDANY *et al.*, 2014). O metabolismo do lactato pareceu ser ainda mais complexo, quando considerada a hipótese da existência do *shuttle* intracelular. Brooks (2002) forneceu algumas evidências para sustentar a hipótese de que o lactato, produzido no citoplasma de uma fibra muscular, pode ser utilizado como fonte energética na mitocôndria da mesma célula (BROOKS, 2002).

A mensuração da concentração plasmática de lactato pode ser utilizada para dirigir programas de condicionamento físico em cavalos (CAMPBELL, 2011), uma vez que o treinamento físico alterou o ritmo de produção e remoção do mesmo na circulação sanguínea. Na espécie humana, houve considerável evidência de que indivíduos, nativos bem como atletas bem treinados para *endurance*, são capazes de acoplar a demanda e a oferta de ATP e, portanto, requisitar minimamente a via glicolítica (HOCHACHKA *et al.*, 2002). Além disso, houve suficiente evidência de que a exposição ao treinamento aumentou a síntese de transportadores do tipo MCT1 (KOHO *et al.*, 2006; STALLKNECHT *et al.*, 1998).

Máximo lactato no estado estável

Um máximo lactato no estado estável (MLSS) correspondeu ao máximo ritmo de trabalho e máxima concentração de lactato, que puderam ser mantidos por um período de tempo, sem que a concentração plasmática de lactato aumente continuamente (BILLAT *et al.*, 2003). Trata-se de uma representação temporal, que observou a velocidade em que a produção e a remoção deste metabólito estiveram em equilíbrio. O MLSS_w foi definido como a máxima velocidade em que a concentração de lactato não aumentou mais que 1 mmol/L entre o quinto e vigésimo quinto minutos, em um teste de carga constante, com duração total de 30 minutos (LINDNER, 2010).

O efeito do treinamento sobre a velocidade correspondente ao lactato no máximo estado estável (MLSS_w) foi observado em camundongos, após oito semanas de treinamento de intensidade correspondente ao MLSS (FERREIRA *et al.*, 2007). Nesse estudo, o MLSS_w foi correspondente a 60% da velocidade máxima atingida durante o teste incremental e elevou-se de 15 m/min para 19 m/min, após oito semanas de treinamento.

O MLSS_w foi considerado o principal marcador de *endurance*

(GOODWIN *et al.*, 2007), uma vez que observou o efeito da velocidade sobre o acúmulo de lactato, de forma direta; entretanto, sua introdução em um programa de treinamento foi considerada pouco viável, devido ao número de testes necessários (6 a 8 testes). Com o objetivo de estimar-se o MLSSw em um teste único em cavalos atletas, o teste *lactate minimum speed* (LMS) foi adaptado para equinos, por Miranda *et al.* (2014). Esse método consistiu de um teste máximo (12 m/s, durante 2 minutos, a 10 % de inclinação), seguido de um teste incremental (velocidade inicial de 4 m/s, incremento de 0.5 m/s a cada 3 minutos e inclinação de 5%). O teste máximo gerou um abrupto aumento da lactacidemia, que decresceu, à medida que o teste incremental progrediu. Durante os primeiros estágios do teste incremental, a remoção do lactato foi mais alta que sua produção e, conseqüentemente, a lactacidemia diminuiu. Com a progressão do teste, a produção aumentou e superou a capacidade de remoção. Do ponto mais baixo dessa curva, discriminou-se a concentração mínima de lactato e o LMS (MIRANDA *et al.*, 2014).

Limiar de lactato: uma estimativa da eficiência energética

Um aumento do ritmo de trabalho induziu a um aumento da concentração plasmática de lactato, em duas fases. O ponto de inflexão da curva representativa da relação entre a concentração plasmática de lactato e o ritmo de trabalho tem sido destacado, em diversas espécies, como o ponto de transição do metabolismo aeróbico para o parcialmente aeróbico e foi denominado limiar de lactato ou "limiar anaeróbico" (HECK *et al.*, 1985) (Figura 1).

A velocidade correspondente ao limiar anaeróbico pode ser uma medida representativa da eficiência energética do cavalo (CAMPBELL, 2011; HECK *et al.*, 1985). Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para a representação numérica do limiar anaeróbico e V_{La} . O V_{La4} (velocidade correspondente à concentração de lactato de 4mmol/L), é uma medida que fez parte de um método, em que o limiar de lactato foi arbitrariamente definido como a concentração de 4 mmol/L e que tem sido utilizado no monitoramento do treinamento de cavalos de corrida (EVANS *et al.*, 1995) e salto (HEDEGAARD SOMMER *et al.*, 2015; MIRIAN e FERNANDES, 2011). Uma vez plotado o gráfico (Lactato X Velocidade) dos dados obtidos em teste incremental escalonado, o V_{La4} foi

determinado, ajustando-se um modelo linear à dispersão e substituindo o valor de

“x”

por

4.

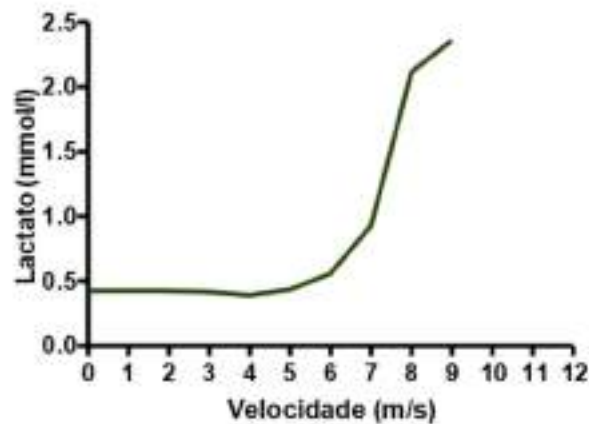


Figura1. Concentração plasmática de lactato, durante teste incremental submáximo, em esteira rolante, de um cavalo da raça Anglo-Árabe, em treinamento para Enduro Equestre (Imagem processada em Graph Prism 6™).

O valor estimado da velocidade “y”, obtido do cálculo da equação, corresponde ao V_{La4} . O significativo aumento do V_{La4} foi observado, após uma semana de treinamento submáximo em cavalos Puro-Sangue-Inglês (PSI) e sua progressão continuou, embora em ritmo mais lento, até a nona semana de treinamento. Além do V_{La4} , o La_9 (concentração de lactato correspondente à velocidade de 9 m/s) também se mostrou sensível ao efeito do treinamento de resistência, em cavalos de corrida (EVANS *et al.*, 1995).

Em um estudo observando cavalos PSI, em testes de máximo lactato no estado estável (MLSS), nas velocidades correspondentes a 1,5, 2,0,

2,5 e 3 mmol/L de lactato (índices determinados em testes incrementais prévios), notou-se que a velocidades correspondentes a 1,5 mmol/L, não suscitou aumento da concentração de lactato em mais de 1 mmol/L entre o quinto e vigésimo sexto minutos do teste. Os autores concluíram, portanto, que em cavalos de corrida, o $V_{1.5}$ pode ser mais representativo do MLSS do que o V_2 ou V_4 (LINDNER, 2010).

Entretanto, foi preciso ressaltar que o modelo $V_{1.5}$, proposto anteriormente (LINDNER, 2010), bem como outros modelos que estabeleceram uma concentração fixa de lactato, puderam não representar precisamente o MLSS, uma vez que houve uma

significativa variação entre cavalos na apresentação da relação entre a concentração de lactato e o ritmo de trabalho. Em cavalos altamente treinados, o recrutamento de fibras do tipo I e a alta concentração de transportadores monocarboxilato I e IV puderam reduzir, de forma significativa, o valor de lactato, relacionado ao MLSS (STALLKNECHT *et al.*, 1998).

Com base nesses resultados, foram propostos, então, métodos para determinação individual do limiar anaeróbico. No método proposto por Tegtbur *et al.* (1995), uma linha reta paralela ao eixo x (concentração de lactato) foi traçada sobre o ponto correspondente ao último estágio do teste e, em seguida, uma linha reta tangente à curva (lactato x velocidade) foi traçada. A partir do ponto em que esta reta tangente interceptou o eixo das abscissas, discriminou-se os valores de lactato e velocidade correspondente ao limiar de lactato individual (IAT e V_{IAT}) (TEGTBUR *et al.*, 1993).

Entretanto, um estudo observou que o método de Tegtbur, bem como o V_{La2} , V_{La4} , V_{LMS} estimaram valores estatisticamente superiores ao V_{MLSS} em cavalos de enduro. Quando testados individualmente, nenhum animal foi capaz de sustentar as velocidades de V_{La2} , V_{La4} , V_{LMS} e

V_{IAT} , sem imprimir um aumento de 1 mmol/L, durante, ao menos, vinte minutos de teste (SOARES *et al.*, 2014).

Resultados com significativa precisão foram obtidos por Kronfeld *et al.* (2000), ao sugerir mudanças no protocolo do teste e na análise dos dados. O autor utilizou menor taxa de incremento da velocidade (0,5 m/s) e obteve um maior número de observações no trecho da dispersão, onde se localizou a inflexão da curva. Em um modelo denominado “linha quebrada”, os autores utilizaram a regressão segmentar, para testar inúmeras possibilidades de ajustes de duas retas às porções inicial e final da curva lactato, em relação ao ritmo de trabalho. Os autores observaram que a velocidade correspondente ao limiar de lactato de cavalos destreinados ($4,21 \pm 0,21$ m/s) aumentou em 14%, após cinco semanas de treinamento submáximo (KRONFELD *et al.*, 2000). A comparação entre o modelo “linha quebrada” e o MLSS em cavalos de enduro treinados poderia fornecer informações úteis à utilização deste método, na rotina de treinamento.

Frequência cardíaca

A relação entre a frequência cardíaca e o ritmo de trabalho, durante exercício progressivo, pode ser matematicamente descrita por uma função linear, o que significou que um aumento da frequência cardíaca em resposta ao aumento progressivo da intensidade do exercício obedeceu a uma função do tipo $y = a(x) + b$. A curva de regressão linear pode ser utilizada para se determinar a velocidade correspondente à frequência cardíaca de 200 batimentos por minuto, ou 140 bpm, que foram índices úteis à avaliação do condicionamento físico (ALONSO *et al.*, 2013).

Quando submetido a cargas progressivas de trabalho, um cavalo apresentou elevação da frequência cardíaca, até um determinado valor, a partir do qual o aumento do ritmo de trabalho não se traduziu em aumento da frequência cardíaca, ponto que foi denominado de FC máxima. Em cavalos, a FC máxima foi de aproximadamente 215 batimentos por minuto. Baixos valores de FC máxima puderam constituir um componente relacionado à baixa aptidão esportiva em cavalos (EVANS, 2007).

A velocidade correspondente à frequência cardíaca de 200 batimentos

por minuto (V_{200}) tem sido descrita como um índice de eficiência, útil ao ajuste do treinamento em cavalos jovens da raça Puro-Sangue-Inglês (KOBAYASHI *et al.*, 1999). Entretanto, a progressão deste índice, em resposta ao treinamento, não foi observada em um estudo prospectivo, com cavalos da raça Puro-Sangue-Árabe, submetidos a treinamento de resistência (MOURA *et al.*, [s.d.]).

Os resultados controversos, com relação aos índices representativos da relação entre FC e velocidade podem relacionar-se a alta variabilidade da frequência cardíaca nos domínios submáximos de exercício. O protocolo de adaptação à locomoção em esteira, bem como a adaptação ao protocolo do teste podem minimizar a influência de estímulos externos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há diversos índices úteis à avaliação das respostas fisiológicas ao treinamento em cavalos; entretanto, o nível de evidência dos mesmos depende da escolha e padronização do teste a ser conduzido.

O máximo lactato no estado estável destaca-se pela precisão com que pode estimar a eficiência energética. A velocidade do lactato

minimo e outros indices correlatos ao máximo lactato no estado estável podem ser interessantes focos de investigação em estudos com treinamento esportivo em cavalos.

O aprimoramento de equipamentos para a mensuração do consumo de oxigênio constitui-se em um passo fundamental para o acesso a um leque mais robusto de informações úteis à racionalização do treinamento esportivo em cavalos.

REFERÊNCIAS

- ADEVA-ANDANY, M.; LÓPEZ-OJÉN, M.; FUNCASTA-CALDERÓN, R.; AMENEIROS-RODRÍGUEZ, E. Mitochondrion Comprehensive review on lactate metabolism in human health. *Mitochondrion*, v.17, p.76-100, 2014.
- ALLEN, K.J.; HILLYER, M.H.; FRANKLIN, S.H. Equitation and exercise factors affecting dynamic upper respiratory tract function: A review illustrated by case reports. *Equine Veterinary Education*, v.23, n.7, p.361-368, 2011.
- ALLEN, K.J.; VAN ERCK-WESTERGREN, E.; FRANKLIN, S.H. Exercise testing in the equine athlete. *Equine Veterinary Education*, v.28, n.2, p.89-98, 2016.
- ALONSO, D.M.; WATANABE, M.J.; HUSSINI, C.A.; MONTOVANI, C.F.; MACHADO, L.P.; YONEZAWA, L.P.; KOHAYAGAWA, A. O treinamento nos valores da V200, FC pico e distância percorrida de cavalos da raça Árabe e Crioula. Training in V200, HR peak and worked distance values in Arabian and Criollo horses. *Ciência Rural*, v.43, n.4, p.722-728, 2013.
- ART, T.; DESMECHT, D.; AMORY, H.; LEKEUX, P. Synchronization of Locomotion and Respiration in Trotting Ponies. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, v.37, n.1-10, p.95-103, 1990.
- ART, T.; DUVIVIER, D.H.; VAN ERCK, E.; DE MOFFARTS, B.; VOTION, D.; BEDORET, D.; LEJEUNE, J.P.; LEKEUX, P.; SERTEYN, D. Validation of a portable equine metabolic measurement system. *Equine Veterinary Journal Suppl*, v.38, p.557-561, 2006.
- BARREY, E.; VALETTE, J. Exercise-related parameters of horses competing in show jumping events ranging from a regional to an international level. *Annales de Zootechnie*, v.42, n.1, p.89-98, 1993.
- BASSETT, D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance

- performance. *Medicine and science in sports and exercise*, v.32, n.1, p.70-84, 2000.
- BILLAT, V. L.; SIRVENT, P.; PY, G.; KORALSZTEIN, J. P.; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*, v.33, n.6, p.407-426, 2003.
- BOUCHARD, C. Genomic predictors of trainability. *Experimental Physiology*, v.97, n.3, p.347-352, 2012.
- BROOKS, G.A. Lactate shuttle - Between but not within cells? *Journal of Physiology*, v.541, n.2, p.332-334, 2002.
- BUTCHER, M.T.; HERMANSON, J.W.; DUCHARME, N.G.; MITCHELL, L.M.; SODERHOLM, L.V.; BERTRAM, J.E.A.; BENZUIDENHOUT, A.J. Superficial digital flexor tendon lesions in racehorses as a sequela to muscle fatigue: A preliminary study. *Equine Veterinary Journal*, v.39, n.6, p.540-545, 2007.
- CAMPBELL, E.H. Lactate-driven equine conditioning programmes. *Veterinary Journal*, v.190, n.2, p.199-207, 2011.
- CONNETT, R.J.; HONIG, C.R.; GAYESKI, T.E.J.; BROOKS, G.A. Defining hypoxia: a systems view of energetics, and intracellular PO. *American Physiology Society*, p.833-842, 1990.
- COTTIN, F.; METAYER, N.; GOACHET, A.G.; JULLIAND, V.; SLAWINSKI, J.; BILLAT, V.; BARREY, E. Oxygen consumption and gait variables of Arabian endurance horses measured during a field exercise test. *Equine Veterinary Journal*, v.42, Suppl.38, p.1-5, 2010.
- CROOK, T.C.; CRUICKSHANK, S.E.; MCGOWAN, C.M.; STUBBS, N.; WAKELING, J.M.; WILSON, A.M.; PAYNE, R.C. Comparative anatomy and muscle architecture of selected hind limb muscles in the Quarter Horse and Arab. *Journal of Anatomy*, v.212, n.2, p.144-152, 2008.
- CURTIS, R.A.; KUSANO, K.; EVANS, D.L.; LOVELL, N.H.; HODGSON, D.R. Reliability of cardiorespiratory measurements with a new ergospirometer during intense treadmill exercise in Thoroughbred horses. *Veterinary Journal*, v.169, n.2, p.223-231, 2005.
- EATON, M.D.; EVANS, D.L.; HODGSON, D.R.; ROSE, R.J. Maximal accumulated oxygen deficit in

- thoroughbred horses. *Journal of Applied Physiology*, v.78, n.4, p.1564-1568, 1995.
- EVANS, D.L.; RAINGER, J.E.; HODSON, D.R.; EATON, M.D.; ROSE, R.J. The effects of intensity and duration of training on blood lactate concentrations during and after exercise. *Equine Veterinary Journal*, v.27, n.18, p.422-425, 1995.
- EVANS, D. L. Training and Fitness in Athletic Horses. Rural Industries Research and Development Corporation Publication, n.00/1, 2000.
- EVANS, D.L. Physiology of equine performance and associated tests of function. *Equine Veterinary Journal*, v.39, n.4, p.373-383, 2007.
- EVANS, D.L.; ROSE, R.J. Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the thoroughbred horse. *Pflügers Archiv: European journal of physiology*, v.411, n.3, p.316-21, 1988.
- FERREIRA, J.C.B.; ROLIM, N.P.L.; BARTHOLOMEU, J.B.; GOBATO, C.A.; KOKUBUN, E.; BRUM, P.C. Maximal lactate steady state in running mice: Effect of exercise training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, v.34, n.8, p.760-765, 2007.
- FORTIER, J.; DELEY, G.; GOACHET, A.G.; JULLIAND, V. Quantification of the energy expenditure during training exercises in Standardbred trotters Animal, In: *International Journal of Animal Bioscience*, v.9, n.5, p.793-799, 2015.
- FORTIER, J.; DELEY, G.; JULLIAND, V. Technical note: Comparison of two methods to quantify exercise energy expenditure in trotters. *Journal of Animal Science*, v.93, n.3, p.1145-1148, 2015.
- GLADDEN, L.B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. v.1, p.5-30, 2004.
- GOODWIN, M. L.; HARRIS, J.E.; HERNÁNDEZ, A.; GLADDEN, L.B. Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. *Journal of Diabetes Science and Technology*, v.1, n.4, p.558-69, 2007.
- HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports and Medicine*, v.6, n.3, p.117-130, 1985.
- HEDEGAARD SOMMER, L.; MUNK, R.; MØLLER NIELSEN, S.; LINDNER, A. Training of horses used

- for show jumping and its effect on v4. *Journal of Equine Veterinary Science*, v.35, n.4, p.301-308, 2015.
- HILL, E.W.; GU, J.; EIVERS, S.S.; FONSECA, R.G.; MCGIVNEY, B.A.; GOVINDARAJAN, P.; ORR, N.; KATZ, L.M.; MACHUGH, D. A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses. *PLoS ONE*, v.5, n.1, p.2-7, 2010.
- HILL, A.V; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Quarterly Journal of Medicine*, p.135-171, 1923.
- HINCHCLIFF, K.W.; LAUDERDALE, M.A.; DUTSON, J.; GEOR, R.J.; LACOMBE, V.A.; TAYLOR, L.E. High intensity exercise conditioning increases accumulated oxygen deficit of horses. *Equine Veterinary Journal*, v.34, p.9-16, 2002.
- HOCHACHKA, P.W.; BEATTY, C.L.; BURELLE, Y.; TRUMP, M.E.; MCKENZIE, D.C.; MATHESON, G.O. The Lactate Paradox in Human High-Altitude Physiological Performance. *News in Physiological Science*, v.17, p.122-126, 2002.
- HODGSON, D.R.; MCGOWAN, C.M.; MCKEEVER, K.H. *The Athletic Horse Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. In: ELSEVIER (Ed.). 2^o ed. [s.l: s.n.], p.10, 2014.
- HOPPELER, H.; JONES, J.H.; LINDSTED, S.L.; CLAASSEN, H.; LONGWORTH, K.E.; TAYLOR, C.R.; STRAUB, R.; LINDHOLM, A. Relating maximal oxygen consumption to skeletal muscle mitochondria in horses. *Equine Exercise Physiology*, v.2, p.278-289, 1987.
- JONES, J.H.; LONGWORTH, K.E.; LINDHOLM, A.; CONLEY, K.E.; KARAS R.H; KAYAR, S.R.; TAYLOR, C.R. Oxygen transport during exercise in large mammals. I. Adaptative variation in oxygen demand. *Journal of Applied Physiology*, v.67, n.2, p.862-870, 1989.
- KARLSSON, J. Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man with special reference to oxygen deficit at the onset of work. *Acta of Physiology Scandinava*, v.358, p.1-72, 1971.
- KOBAYASHI, M.; KURIBARA, K.; AMADA, A. Application of V200 values for evaluation of training effects in the young Thoroughbred under field conditions, v.30, p.159-162, 1999.
- KOHO, N.M.; HYYPPÄ, S.; PÖSÖ, A.R. Monocarboxylate transporters (MCT) as lactate carriers in equine

muscle and red blood cells. *Equine Veterinary Journal*, v.38, Suppl.36, p.354-358, 2006.

KRONFELD, D.S.; CUSTALOW, S.E.; FERRANTE, P.L.; TAYLOR, L.E.; MOLL, H.D.; MEACHAM, T.N.; TIEGS, W. Determination of the lactate breakpoint during incremental exercise in horses adapted to dietary corn oil. *American Journal of Veterinary Research*, v.61, n.2, p.144-151, 2000.

KUSANO, K.; CURTIS, R.A.; GOLDMAN, C.A.; EVANS, D.L. Relative Flow-Time Relationships in Single Breaths Recorded After Treadmill Exercise in Thoroughbred Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, v.27, n.8, p.362-368, 2007.

LAWSON, S.E.M.; MARLIN, D.J. Preliminary report into the function of the shoulder using a novel imaging and motion capture approach. *Equine Veterinary Journal*, v.42, n. Suppl. 38, p.52-55, 2010.

LINDNER, A.E. Maximal lactate steady state during exercise in blood of horses. *Journal of Animal Science*, v.88, n.6, p.2038-2044, 2010.

LOVELL, D.K.; ROSE, R.J. Changes in skeletal muscle composition in response to interval and high intensity training. *Equine Exercise Physiology* 3.

Anais...Davis: 1993

MARLIN, D. Has the golden age of equine exercise physiology passed and if so, have we answered all the big questions? *Journal of Equine Veterinary Science*, v.35, n.5, p.354-360, 2015.

MIRANDA, M.; QUEIROZ-NETO, A.; SILVA-JÚNIOR, J.; PEREIRA, M.; SOARES, O.; BORGHI, R.; FERRAZ, G. Comparison of the lactate minimum speed and the maximal lactate steady state to determine aerobic capacity in purebred Arabian horses. *New Zealand Veterinary Journal*, v.62, n.1, p.15-20, 2014.

MIRIAN, M.; FERNANDES, W. Padronização De Teste Incremental De Esforço Máximo a Campo Para Cavalos Que Praticuem Hipismo Clássico. *Veterinária e Zootecnia*, v.18, n.4, p.668-679, 2011.

MOURA, J. DE; MEMILI, E.; RODRÍGUEZ-VILLAMIL, P. O treinamento nos valores da V200, FC pico e distância percorrida de cavalos da raça Árabe e Crioula. Training in V200, HR peak and worked distance values in Arabian and Criollo horses. [s.d.].

MUNSTERS, C.C.B.M.; VAN IWAARDEN, A.; VAN WEEREN, R.; SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN, M.M. Exercise testing

- in Warmblood sport horses under field conditions. *Veterinary Journal*, v.202, n.1, p.11-19, 2014.
- OHMURA, H.; HIRAGA, A.; MATSUI, A.; AIDA, H.; INOUE, Y.; ASAI, Y.; JONES, J.H. Physiological responses of young Thoroughbreds during their first year of race training. *Equine veterinary journal. Supplement*, v.34, n.34, p.140-6, 2002.
- OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN, M.M.S.; BARNEVELD, A. Comparison of the workload of Dutch warmblood horses ridden normally and on a treadmill. *The Veterinary Record*, v.137, n.6, p.136-139, 1995.
- QUIROZ-ROTHE, E.; RIVERO, J.L.L. Co-ordinated expression of contractile and non-contractile features of control equine muscle fibre types characterised by immunostaining of myosin heavy chains. *Histochemistry and Cell Biology*, v.116, n.4, p.299-312, 2001.
- REGATIERI, I.C.; PEREIRA, G.L.; TEIXEIRA NETO, A.R.; FERRAZ, G.C.; CURI, R.A.; QUEIROZ-NETO, A. Polymorphisms in MCT1, CD147, PDK4, and DMRT3 genes in Arabian and Quarter Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, v.1, p.1-5, 2016.
- ROSE, R.J.; HODGSON, D.R.; BAYLY, W.M.; GOLLNICK, P.D. Kinetics of VO₂ and VCO₂ in the horse and comparison of five methods for determination of maximum oxygen uptake. *Equine veterinary journal. Supplement*, n.9, p.39-42, 1990.
- SOARES, O.A.B.; FERRAZ, G.C.; MARTINS, C.B.; DIAS, D.P.M.; LACERDA-NETO, J.C.; QUEIROZ-NETO, A. Comparison of maximal lactate steady state with V₂, V₄, individual anaerobic threshold and lactate minimum speed in horses. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, v.66, n.1, p.39-46, 2014.
- STALLKNECHT, B.; VISSING, J.; GALBO, H. Lactate production and clearance in exercise. Effects of training. A mini-review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, v.8, p.127-131, 1998.
- TAYLOR, C.R.; HEGLUND, N.C.; MALOY, G.M. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. I. Metabolic energy consumption as a function of speed and body size in birds and mammals. *The Journal of Experimental Biology*, v.97, n.1970, p.1-21, 1982.
- TEGTBUR, U.; BUSSE, M.W.; BRAUMANN, K.M. Estimation of an

individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v.25, n.5, p.620-627, 1993.

TYLER, C.M.; GOLLAND, L.C.; EVANS, D.L.; HODGSON, D.R.; ROSE, R.J. Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining, and detraining in horses. *Journal of Applied Physiology*, v.81, n.5, p.2244-2249, 1996.

YOUNG, L.E.; MARLIN, D.J.; DEATON, C.; BROWN-FELTNER, H.; ROBERTS, C.A.; WOOD, J. L.

Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, v.34, p.467-471, 2002.