

MELHORAMENTO GENÉTICO DE EQUINOS: ASPECTOS BIOQUÍMICOS

HORSE BREEDING PROGRAM: BIOCHEMICAL ASPECTS

I. C. REGATIERI^{1*}, M. D. S. MOTA²

RESUMO

Nos últimos anos, a equinocultura no Brasil se desenvolveu e ganhou importância nas atividades de esporte e lazer. O complexo do agronegócio do cavalo é relevante no cenário nacional e o país apresenta destaque na importação e exportação de animais vivos. A exportação de cavalos de corrida tem aumentado e as técnicas de melhoramento genético visando melhor desempenho esportivo têm sido almejadas por criadores, apesar do distanciamento destes com os centros de pesquisa. Estudos científicos foram publicados em várias áreas da produção equina, porém, quando se trata de melhoramento genético, valores de herdabilidades e correlações para características relacionadas ao desempenho atlético de cavalos de esporte dificultam uma seleção simples e direta. A seleção genômica pode fornecer as ferramentas necessárias para o aperfeiçoamento do melhoramento das raças equinas embora fatores ambientais possam interferir no desempenho dos equinos, como nutrição e o treinamento realizado nos cavalos esportistas. Várias fibras musculares compõem o músculo esquelético dos cavalos. Suas proporções e tipos podem ser modificados conforme o treinamento aplicado. Outros fenótipos que podem ser alterados com o treinamento se referem a processos envolvendo mecanismos de homeostase ácido/base. O ATP é o principal combustível fornecido para que a contração muscular ocorra. Uma das vias de produção de ATP é a glicólise anaeróbia que tem como produto final o lactato e o hidrogênio, este, um dos responsáveis pela fadiga muscular. Transportadores Monocarboxilatos tipo 1 (MCT1), presentes nas hemácias, e sua proteína acessória (CD147) têm como função transportar íons H^+ e lactato do plasma para o eritrócito contribuindo para a manutenção da homeostasia ácido/base retardando a acidose sistêmica e a fadiga de fibras musculares glicolíticas. Pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de explorar a expressão desses transportadores nos músculos e hemácias de cavalos com o objetivo de buscar possíveis alternativas para melhorar o desempenho de cavalos em esportes.

PALAVRAS-CHAVE: Lactatemia. MCTs. CD147. Desempenho.

SUMMARY

In recent years, in Brazil, horse breeding has developed and gained importance in sports and leisure activities. The complex horse agribusiness is relevant on the national scene and the country is an important importer and exporter of horses. The export of racehorses has increased lately and the search for breeding techniques that aim at better sports performance is being sought by breeders, despite their distant relationship with research centers. Scientific studies have been published in various areas of equine production, but when it comes to breeding, heritability values and correlations for traits related to athletic performance of athlete horses, a straightforward selection becomes difficult. The genomic selection can provide the tools necessary to improve horse breeds; although, environmental factors, such as nutrition and sports training can affect horse performance. Horse skeletal muscle is made up by several muscle fibers, whose proportions and types can be modified by specific training. Other phenotypes that can be changed by training are the processes involving acid/base homeostasis mechanisms. ATP is the main fuel supplied for muscle contraction to happen. One of ATP production pathways is anaerobic glycolysis which produces lactate and hydrogen, this one responsible for lowering the pH causing muscle fatigue. Monocarboxylate transporters type 1 (MCT1) and its ancillary protein (CD147) have as function to transport H^+ and lactate ions from plasma to red blood cells contributing to the maintenance of acid/base homeostasis retarding systemic acidosis and fatigue of glycolytic muscle fibers. Researches are being conducted in order to determine the role of these transporters in muscle and red blood cells, and to seek possible alternatives to improve horse sports performance.

KEY-WORDS: Lactatemia. MCTs. CD147. Performance.

¹ UNESP - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal - SP.

*Autor para correspondência: iregatieri@hotmail.com

² UNESP - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu - SP.

Desde a formação social, econômica e política do país, quando o cavalo ainda representava a vaidade, o orgulho e até o diferencial social entre muitas famílias, o rebanho de equinos no Brasil cresceu e desempenhou diferentes papéis. O cavalo que era utilizado para transporte de cargas e pessoas, tração, trabalho no campo, e até mesmo em guerras nos campos de batalha, hoje é considerado animal de companhia e está sendo amplamente empregado em atividades de esporte e lazer (LIMA et al., 2006), não obstante sua grande importância como ferramenta de trabalho.

Apesar de a criação de cavalos ser vista, atualmente, como atividade de lazer, o comércio e o negócio na equinocultura mostram-se expressivos. O Brasil possui o quarto maior rebanho equino do mundo, com 5.514.253 milhões de cabeças (IBGE, 2011), perdendo apenas para China, Estados Unidos e México. O maior número de equinos encontra-se na região Regiões Nordeste (24,8%), seguida das regiões Sudeste (24,6%) e Centro-Oeste (20,4%). O negócio na equinocultura é composto por cerca de 30 segmentos que vão desde a confecção de selas e equipamentos, passando pela produção de insumos, medicamentos, rações, acessórios, entre outros. Além disto, inclui como mão de obra: ferrageadores, veterinários, treinadores e outros profissionais envolvidos desde a criação até o destino final dos animais, compondo desta forma, a base do Complexo do Agronegócio do Cavalo (LIMA et al., 2006), responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos no nosso país.

Na participação do comércio internacional de equinos, o Brasil tem grande destaque. A expansão da exportação brasileira de cavalos vivos alcançou 524% entre 1997 e 2009, passando de US\$ 702,8 mil para US\$ 4,4 milhões (MAPA, 2010). Os Estados Unidos foram o principal exportador do ano de 2009 (148.472 cabeças, representando 48,8% do comércio mundial) e a Argentina, principal exportador da América do Sul, exportou quase sete vezes mais que o Brasil (4.255 animais), com preço médio por equino aproximadamente igual ao brasileiro (6.800 dólares). No caso das importações de cavalos vivos, o Brasil ocupa a 35ª posição e a liderança fica com a Europa (49,8% do comércio mundial) seguida da Ásia (26%), sendo México, Canadá e Itália, individualmente, os principais importadores em número de cabeças.

Os cavalos de corrida compõem um dos segmentos mais ativos nesse comércio internacional. As exportações de cavalos de corrida brasileiros, da raça Puro Sangue Inglês (PSI) têm aumentado cada vez mais para Dubai, nos Emirados Árabes Unidos. De 2002 para 2006, o número de cavalos de corridas exportados saltou de 99 para 314, segundo dados da Associação Brasileira de Criadores e Proprietários de Cavalos de Corrida (ABCPCC). Em relação às técnicas de produção do cavalo de corrida, o Brasil melhorou desde o manejo e a pastagem até a reprodução. Para o melhoramento genético, os criadores começaram a

importar, com mais frequência, éguas e garanhões dos Estados Unidos e da Argentina, que são dois grandes criatórios de PSI no mundo. Essa preocupação com o melhoramento da qualidade genética do plantel brasileiro começa a criar força e sua causa pode ser a expansão da equinocultura no país, observada por meio do crescimento do número de eventos esportivos.

Milhares de atletas praticam esportes equestres em suas diversas modalidades: Salto, Pólo, Enduro, Apartação, Volteio, Adestramento, Turismo Equestre, Vaquejada, Equitação, Turfe, CCE (Concurso Completo de Equitação), 6 Balizas, Três Tambores, Rodeio, etc. No complexo agropecuário, o segmento de equinos utilizados em diversas atividades esportivas movimentou valores da ordem de R\$ 705 milhões e emprega, diretamente, cerca de 20.500 pessoas, com a participação estimada de 50 mil atletas (LIMA et al., 2006).

Apesar de os criadores de cavalos para esporte cada vez mais almejam animais geneticamente superiores, capazes de apresentar melhor desempenho nas provas, falta interesse pela utilização dos dados obtidos por pesquisas na área equestre. Não só no Brasil, mas em grande parte dos países, há distância considerável entre criadores e pesquisadores. Isso pode ser atribuído ao fato de que alguns criadores têm a atividade não como fonte de renda principal, mas sim como lazer e, desta forma, enxergam os demais criadores como potenciais concorrentes. Outra possível causa desse distanciamento entre pesquisa e aplicação prática, que impede a realização de programas consistentes e contínuos de seleção, é que as instituições de pesquisa, apesar de dependerem da disponibilidade e qualidade de informações coletadas, normalmente não consideram o interesse dos criadores, o que dificulta acordo entre eles.

Mesmo com essa dificuldade na implantação de um sistema de melhoramento e seleção de animais superiores nos criatórios de cavalos, a produção científica na equideocultura tem sido crescente na última década, tanto no Brasil, quanto nos países em que o agronegócio do cavalo é um segmento importante na economia. Segundo Almeida & Silva (2010), houve aumento significativo das publicações em equinos, refletindo as tendências atuais da indústria equina, com enfoque na medicina esportiva, neonatologia, técnicas de diagnóstico clínico, novas tecnologias da reprodução de garanhões e éguas, estudos avançados sobre sanidade e doenças, assim como pesquisas sobre comportamento e bem estar nos sistemas de produção de equinos.

O melhoramento animal implica em manipulação genética com o envolvimento de vários aspectos do ser vivo. A seleção do Quarto de Milha para a corrida de 402 metros, ou para as provas de rédeas e trabalho; do Mangalarga Marchador para comodidade no passeio; dos Anglo-Árabes para leveza em transpor obstáculos e dos animais de tração para estrutura e força, ou seja, melhorar um cavalo a ponto de que seja bom de corrida ou marcha, que tenha excelente rendimento no salto e em provas de adestramento e que adquira o máximo de versatilidade

e de conquistas, é o maior sonho de qualquer criador. Porém, o melhoramento genético dos equinos é tão complexo que conseguir um cavalo perfeito para as provas equestres ou mesmo para o trabalho é tarefa difícil. A maior causa dessa dificuldade é a baixa herdabilidade do desempenho atlético e os valores de correlações genéticas existentes entre as características mais almejadas nos cavalos. Koenen et al. (1995) estimaram valores de herdabilidade para performance e suas correlações com características de conformação, em equinos de salto e adestramento. Os resultados indicaram que devido aos baixos valores encontrados para herdabilidade (0,17 para adestramento e 0,19 para salto) e às correlações genéticas de baixas a moderadas magnitudes, a seleção indireta para performance, utilizando características de conformação, não é adequada. Wallin et al. (2003), observando a performance de cavalos aos quatro anos de idade e ao longo de suas competições, também encontraram baixos valores para herdabilidades, variando de 0,09 a 0,27, em características de marcha, salto e adestramento. Bokor et al. (2005), estimando parâmetros genéticos em cavalos de corrida com obstáculo, por meio de “rank” criado por transformação matemática, observaram valores de herdabilidades de 0,18 para animais da França e 0,06 para animais do Reino Unido e Irlanda.

Tão importantes são as pesquisas, que a recente era da genômica aproveitou o programa, o método e as ferramentas desenvolvidas para o *Human Genome Project* para estudar a genética do cavalo. Em 1995, 70 pesquisadores de 20 países deram início ao *Horse Genome Project* com o objetivo de criar mapas de genes e sequenciar o genoma completo do cavalo. Aplicações iniciais foram feitas nas áreas de coloração genética da pelagem e doenças hereditárias e as informações encontradas foram utilizadas para o benefício dos cavalos e de seus criadores. Em janeiro de 2007, o sequenciamento já estava completo e hoje se encontra disponível “online” em <[HTTP://genome.ucsc.edu/](http://genome.ucsc.edu/)>. Com o genoma completo, é possível explorar profundamente as doenças de características simples e complexas, herdáveis ou não, influenciadas por muitos genes, condições ambientais e regulação genética, a fim de desenvolver melhores tratamentos terapêuticos, encontrar a cura e possibilitar a criação de cavalos saudáveis. O grande atrativo dessa genética molecular, em benefício do melhoramento genético aplicado, é a utilização direta das informações de DNA na seleção, de forma a permitir alta eficiência seletiva, grande rapidez na obtenção de ganhos genéticos e baixo custo, em comparação com a tradicional seleção baseada em dados fenotípicos, além de ser excelente para características de baixa herdabilidade (RESENDE et al., 2008), como é o caso do desempenho atlético dos equinos. Os estudos genômicos também estão focados em aspectos relacionados a doenças e é grande a esperança de que antigas incógnitas relacionadas à saúde dos equinos consigam ser desvendadas.

A formação de um cavalo não é baseada somente em características geneticamente controladas, há inúmeros fatores ambientais que são capazes de

influenciar seu desempenho, como nutrição, saúde e treinamento. Cavalos que praticam algum tipo de esporte, quando submetidos a frequentes treinamentos, tornam-se altamente capazes de realizar atividades intensas e relacionadas. Como exemplo, cavalos treinados para exercícios de curta duração e alta intensidade desenvolvem fibras musculares esqueléticas apropriadas para exercícios de altas velocidades. Quando o animal inicia o exercício, os músculos utilizam a energia fornecida pelo corpo para a contração das fibras. Durante o trabalho muscular, a adenosina trifosfato (ATP), principal fonte de energia utilizada na contração das fibras, é hidrolisada em adenosina difosfato (ADP) no músculo esquelético, por meio da enzima miosina-ATPase, com a liberação de fosfato inorgânico e energia para a contração muscular. A fibra muscular é um conjunto de miofibrilas, feixes cilíndricos, organizados longitudinalmente que apresentam unidades contráteis do músculo, os sarcômeros. As miofibrilas diferem entre si de acordo com o metabolismo energético dominante, suas características funcionais e metabólicas, segundo aspectos histológicos e de coloração, estando correlacionados com a velocidade da contração muscular e atividades enzimáticas.

Os músculos esqueléticos dos equinos são compostos por dois tipos principais de fibras: tipo I, as fibras lentas oxidativas ou vermelhas, e tipo II, as fibras rápidas ou fibras brancas, que são subdivididas nos tipos IIA ou rápidas oxidativas-glicolíticas e IIX ou rápidas glicolíticas. Além dessas fibras consideradas “puras”, Rivero et al. (1996) demonstraram a existência de dois tipos de fibras “híbridas”, que representam um estágio intermediário entre as fibras I e IIA, que seria a tipo C, e outra, a IIX-XA que seria intermediária entre a IIA e a IIX.

É importante ressaltar que na literatura especializada (especialmente a relacionada aos seres humanos) encontra-se a descrição das fibras tipo IIB que, no entanto, não é expressa em equinos (SERRANO & RIVERO, 2000), sendo a fibra correspondente nessa espécie a IIX.

As fibras do tipo I exibem cor vermelho-escuro devido à grande vascularização e alto conteúdo de mioglobina e citocromos, já que são especialmente ricas em mitocôndrias, além de terem diâmetros relativamente menores que maximizam a difusão do oxigênio até as mitocôndrias no interior da célula. Dessa forma, têm alta capacidade de oxidar aerobiamente carboidratos e ácidos graxos para gerar ATP. Além disso, são ricas em enzimas oxidativas, apresentam contração lenta e prolongada, sofrem fadiga mais lentamente e são utilizadas em atividades duradouras como a manutenção da postura (D'ANGELIS et al., 2005).

As fibras do tipo II ou brancas possuem diâmetro maior, com predomínio de metabolismo energético anaeróbico. O músculo constituído por este tipo de fibras tem velocidade de contração, velocidade de condução na membrana e tensão máxima maiores do que nas fibras do tipo I. As fibras tipo IIA têm predomínio do metabolismo anaeróbico, mas já com capacidade oxidativa superior, o que as torna mais

resistentes à fadiga. São recrutadas juntamente com as fibras do tipo I, porém, à medida que a carga de trabalho é aumentada, é necessário o desenvolvimento de mais tensão, e mais fibras do tipo IIA são recrutadas. As fibras do tipo IIX são de contração rápida, nas quais se obtém energia quase exclusivamente por glicólise anaeróbia, usando apenas glicose e glicogênio, o que origina grande acúmulo de lactato e íons hidrogênio no final do exercício. São fibras com mau rendimento energético e facilmente fatigáveis. São observadas em altas proporções em cavalos corredores de curtas distâncias que necessitam de contrações muito potentes para a aceleração rápida e geração de força, predominando em músculos que movem pernas e braços.

Todas as fibras estão ativas em todos os exercícios, porém o tipo de exercício determinará maior ou menor recrutamento das fibras específicas. A proporção entre as fibras também varia de acordo com a genética, o tempo de repouso e o tipo de treinamento que o cavalo é submetido. Animais utilizados para esportes de resistência apresentam maiores porcentagens de fibras tipo I de baixa contração, do que cavalos de corrida, os quais apresentam alta porcentagem de fibras de alta contração tipo IIA e IIB (IIX), sendo esta última, de contração mais rápida que a anterior (SNOW & GUY 1980).

As fibras musculares requerem abastecimento de combustível fornecido por um ou mais dos sistemas de produção de energia de que o corpo do animal dispõe. A única fonte de energia que pode ser utilizada como combustível direto para a contração muscular é o ATP. Um dos caminhos que o cavalo pode utilizar para obtê-lo é por meio da quebra dos estoques de fosfato creatina. O segundo caminho é por meio da quebra do glicogênio muscular e conversão de glicose para lactato, e a última forma é a partir da oxidação de carboidratos e gordura e, com menor contribuição, de proteínas.

Quando o músculo utiliza o glicogênio de reserva para obtenção de energia sob a forma de ATP, a glicose é convertida a piruvato e durante o metabolismo aeróbio normal, o piruvato é então oxidado pelo oxigênio molecular a CO_2 e H_2O . Durante a realização de intenso exercício físico, o oxigênio fornecido aos tecidos musculares pode não ser suficiente para oxidar totalmente o piruvato (FERRAZ et al. 2009). Nestes casos, a glicose é convertida a piruvato e depois a lactato pela via da fermentação láctica, obtendo ATP sem recorrer ao oxigênio (NELSON & COX, 2005). O lactato, produto formado durante a glicólise anaeróbica, é produzido primeiramente nas fibras glicolíticas, oxidado nas fibras oxidativas e no coração e também usado como substrato para a gliconeogênese hepática (BONEN, 2001; FERRAZ et al., 2008). O lactato é removido do sangue à mesma taxa em que é produzido, de forma que a concentração de lactato no sangue em cavalos permanece aproximadamente entre 1 e 1,5 mM (HIGGINS & SNYDER, 2006). Quando o exercício é máximo, a concentração no músculo do cavalo pode aumentar para 23 – 46 mmol/Kg. (LOVELL et al., 1987).

Dessa forma, a via glicolítica anaeróbia gera acúmulo de lactato e de prótons H^+ no músculo e no sangue e isso tem sido a principal causa da fadiga e dor muscular (FITTS, 1994; HOGAN et al., 1995). Segundo Allen et al. (2008), a fadiga pode ser entendida como qualquer declínio no desempenho muscular. As fibras tipo IIX são as que possuem maior quantidade de glicogênio e devido à glicogenólise, durante intensos exercícios, maiores concentrações de lactato são medidas nos músculos que recrutam maiores proporções dessas fibras (VALBERG et al., 1985). Segundo Fitts (1994), o baixo pH determinado pelo aumento de íons H^+ pode inibir a atividade de contração do aparelho muscular e causar a liberação de Ca^{2+} pelo retículo endoplasmático.

Como meio de defesa, as células se adaptam ao estresse fisiológico causado pelo exercício por meio de vários mecanismos para impedir a acidose celular causada pelo acúmulo de prótons H^+ . No músculo de cavalos, vários tampões são utilizados para redução das flutuações do pH nas células durante a atividade muscular (HYYPÄ & PÖSÖ 1998; FERRAZ et al., 2010). Além dos tampões, na maioria dos tecidos e também nas hemácias (HALESTRAP & PRICE, 1999), existem proteínas transportadoras chamadas monocarboxilatos (MCTs), que facilitam o transporte de lactato e outros ânions como o piruvato, o acetoacetato e o β -hidroxibutirato, para dentro e fora das células através da membrana plasmática. Este transporte é realizado juntamente com um próton e é controlado pelo gradiente de íon hidrogênio, portanto, não requer ATP (MERZHSKAYA & FISHER 2009). Existem 14 isoformas de MCTs identificadas, das quais grande parte ainda não apresenta função determinada e específica, diferindo entre si por tecido, espécie e substrato específico. Dentre as isoformas já encontradas, as chamadas MCT1 e MCT4 são consideradas as principais transportadoras de lactato do músculo cardíaco e esquelético dos mamíferos (BROOKS & McCLELLAND, 2002; HALESTRAP & MEREDITH, 2004). A isoforma MCT1 é predominante em fibras oxidativas e responsável por facilitar a absorção de lactato, já a MCT4 é predominantemente encontrada em fibras glicolíticas e facilita a extrusão do lactato (KITAOKA et al., 2010). Em muitas espécies, a isoforma MCT1 é a única encontrada nas membranas das células vermelhas do sangue, porém, em cavalos, Koho et al. (2002) já relataram a expressão da isoforma MCT2, que possui maior afinidade pelo piruvato, mas também é responsável por facilitar o transporte de lactato quando este se encontra em baixas concentrações no músculo. Koho et al. (2006), estudando a localização dos transportadores monocarboxilatos em equinos, encontraram as isoformas MCT1 e MCT2 nas células vermelhas do sangue e as isoformas MCT1 e MCT4 nas células dos músculos.

Os cavalos utilizados em competições esportivas são altamente treinados e capacitados para realizar exercícios de alta intensidade. Um dos cavalos mais estudados e melhorados para competições que exigem velocidade e resistência, como corrida e salto, é o Puro Sangue Inglês (PSI). Esses animais possuem

alto nível de oxigenação e grande quantidade de glicogênio nos músculos. Quando são realizados intensos exercícios, a concentração de lactato no plasma e nas células vermelhas do sangue varia consideravelmente e pode aumentar muito (HARRIS & SNOW, 1988), tornando-os extremamente propensos à fadiga muscular. Essa variação da concentração ocorre devido à taxa de influxo de lactato para dentro das hemácias, o que é dependente da atividade das proteínas MCTs. Outra importante consideração é que os transportadores MCTs necessitam de uma proteína acessória para sua correta localização e funcionamento na membrana plasmática. A proteína acessória das isoformas MCT1 e MCT4 é uma glicoproteína integrante da membrana plasmática, pertencente à superfamília das imunoglobulinas, denominada CD147 (KIRK et al., 2000; GALLAGHER et al., 2007).

Devido a isto, muitas pesquisas estão sendo realizadas para estudar o número e a atividade dos transportadores MCTs e das proteínas acessórias CD147 dos equinos, a fim de que se possam associar esses conhecimentos às técnicas de melhoramento genético com o objetivo de tornar a raça cada vez mais resistente a exercícios extremos.

Koho et al. (2006) estudaram os níveis de MCTs e CD147 em hemácias e nos músculos (*gluteus medius* e *cremaster*) de animais PSI. Os autores relataram várias conclusões: as isoformas MCT1 e MCT4 foram encontradas em abundância nos músculos; a isoforma MCT2 foi localizada nas hemácias. Treino ou idade aumentaram a quantidade de MCT4, positivamente correlacionada com CD147. Com esses resultados, os autores elucidaram que conforme aumenta a captação de lactato pela hemácia, sua concentração no plasma diminui, fazendo com que o efluxo de lactato do músculo para o plasma seja maior e, desta forma, mais resistente o músculo se torna à fadiga. Como o lactato é transportado para dentro das hemácias junto com o íon H^+ , seu citoplasma se torna ácido e ocorre a dissociação de oxigênio da hemoglobina, promovendo maior fornecimento de oxigênio para os músculos em atividade.

Kitaoka et al. (2011), estudando animais PSI, relataram que o número de transportadores MCT1 e MCT4 aumentou no músculo *gluteus medius* após 18 semanas de treino de alta intensidade e que o incremento na quantidade de MCT1 foi mantido quando o treino passou a ser de intensidade moderada, durante seis semanas.

Reeben et al. (2006) buscaram por sequências genéticas de MCT1 e CD147 em cavalos da raça Standardbred para examinar as diferenças entre os cavalos que possuíam maior e menor atividade de transporte de lactato em suas hemácias. Os autores encontraram polimorfismos no estudo (Single Nucleotide Polymorphism - SNP), no entanto, acharam improvável que estivesse relacionado com a atividade de transporte de lactato e sugeriram outras pesquisas.

Revdol et al. (2010) estudaram a expressão do MCT1 e do CD147 nas diferentes fibras do músculo *gluteus medius* (Fibras tipo I, IIA, IIX, IIX) em cavalos da raça Norwegian-Swedish Coldblood antes e

após treinamento. Os autores não relataram mudança significativa na distribuição de MCT1 e CD147 nas membranas dos diferentes tipos de fibras musculares, tanto antes, quanto depois do treinamento. Em contraste, com o treinamento, houve aumento no conteúdo de MCT1 e CD147 no citoplasma das fibras do tipo I, IIA e IIAB, comparada com o valor de referência das fibras tipo IIX, o que pode indicar a presença daquelas proteínas nas mitocôndrias (BENTON et al., 2004; BUTZ et al., 2004).

A realização de pesquisas de forma acurada é muito importante quando se objetiva a aplicação prática dos resultados. Devido aos vários segmentos em que os cavalos são empregados no complexo do agronegócio brasileiro, o objetivo e os critérios a serem incluídos nos programas de melhoramento genético devem ser claramente definidos. Quando o segmento são os cavalos de corrida, o estudo dos monocarboxilatos aliado ao melhoramento genético da espécie pode trazer melhoras significativas na performance desses animais, visto que esses transportadores estão intimamente relacionados ao desempenho e à fadiga muscular durante as provas. A busca por mutações que podem influenciar o correto funcionamento dos MCTs, o estudo de genes candidatos ligados aos transportadores de lactato ou o sequenciamento do genoma do cavalo são ferramentas genômicas que, ligadas às técnicas tradicionais de melhoramento genético animal, podem trazer informações precisas para serem aplicadas a favor dos equinos e de seus criadores.

É evidente que a aplicação prática das pesquisas em melhoramento genético de equinos é capaz de trazer aumentos no faturamento do complexo do agronegócio do cavalo. O uso eficiente das técnicas de melhoramento pode reduzir a compra de material genético do exterior, visto que uma das principais motivações para importação de sêmen e animais vivos está relacionada ao melhoramento genético dos plantéis. O volume de animais exportados também pode aumentar quando se tem um plantel com equinos de qualidade, reconhecidos internacionalmente. Quando se associa sanidade e nutrição com melhoramento genético, os gastos com quarentena, exames, veterinário e tratamento de doenças podem ser reduzidos.

Os negócios que envolvem a criação e utilização do cavalo ocupam posição de destaque nos países desenvolvidos e em muitos em desenvolvimento, como o Brasil. Os diversos segmentos que configuram o Agronegócio Cavalo têm participação fundamental no desenvolvimento do país, principalmente a partir da contribuição pela geração de renda e de postos de trabalho. Dessa forma, fica claro que a aplicação consistente do melhoramento genético no plantel brasileiro pode contribuir de forma efetiva para o desenvolvimento do nosso país.

Embora o complexo do agronegócio do cavalo seja de grande importância para o Brasil e inúmeras pesquisas em vários países estejam sendo publicadas na literatura, envolvendo de alguma forma, o melhoramento genético de equinos, os programas de seleção não estão sendo praticados de forma

consistente. Isto significa, de certa forma, que a maior parte dos resultados de pesquisas nesta área não gera aplicação prática e, portanto, pouco contribui para o desenvolvimento da espécie. Na maioria das vezes, esta não aplicação decorre mais da falta de interesse dos criadores em utilizarem o resultado da pesquisa, do que de sua qualidade em si (MOTA & REGITANO, 2012). Mesmo assim, o melhoramento genético em equinos tem grandes chances de ser aprimorado devido ao excelente rebanho que possui, ao alto potencial de produção que tem e às ferramentas científicas existentes atualmente.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. **Physiological Reviews**, v.88, p.287-332, 2008.
- ALMEIDA, F. Q.; SILVA, V. P. Progresso científico em equideocultura na 1ª década do século XXI. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.119-129, 2010.
- BENTON, C. R.; CAMPBELL, S. E.; TONOUCHI, M.; HATTA, H.; BONEN, A. Monocarboxylate transporters in subsarcolemmal and intermyofibrillar mitochondria. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.323, p.249-253, 2004.
- BOKOR, A.; BLOUIN, C.; LANGLOIS, B.; STEFLER, J. Genetic parameters of racing merit of Thoroughbred horses in steeplechase races. **Italian Journal of Animal Science**, v.4, p.43-45, 2005.
- BONEN A. The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle. **European Journal of Applied Physiology**, v.86, p.6-11, 2001.
- BROOKS, G. A.; McCLELLAND, G. B. Changes in MCT 1, MCT 4, and LDH expression are tissue specific in rats after long-term hypobaric hypoxia. **Journal of Applied Physiology**, v.92, p.1573-1584, 2002.
- BUTZ, C. E.; MCCLELLAND, G. B.; BROOKS, G. A. MCT1 confirmed in rat striated muscle mitochondria. **Journal of Applied Physiology**, v.97, p.1059-1066, 2004.
- D'ANGELIS, F. H. F.; FERRAZ, G. C.; LACERDA NETO, J. C.; QUEIROZ NETO, A. Aerobic training, but not creatine supplementation, alters the gluteus medius muscle. **Journal of Animal Science**, v.83, p.579-585, 2005.
- FERRAZ, G. C.; D'ANGELIS, F. H. F.; TEIXEIRA-NETO, A. R.; FREITAS, E. V. V.; LACERDA-NETO, J. C.; QUEIROZ-NETO, A. Blood lactate threshold reflects glucose responses in horses submitted to incremental exercise test. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, p.256-259, 2008.
- FERRAZ, G. C.; TEIXEIRA NETO, A. R.; LACERDA NETO, J. C.; PEREIRA, M. C.; QUEIROZ-NETO, A. Respostas ao exercício de intensidade crescente em equinos: alterações na glicose, insulina e lactato. **Ciência Animal Brasileira (UFG)**, v.10, p.1334-1340, 2009.
- FERRAZ, G. C.; SOARES, O. A. B.; FOZ, N. S. B.; PEREIRA, M. C.; QUEIROZ-NETO, A. The workload and plasma ion concentration in a training match session of high-goal (elite) polo ponies. **Equine Veterinary Journal**, v.42, p.191-195, 2010.
- FITTS, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v.74, p.49-94, 1994.
- GALLAGHER, S. M.; CASTORINO, J. J.; WANG, D.; PHILP, N. J. Monocarboxylate transporter 4 regulates maturation and trafficking of CD147 to the plasma membrane in the metastatic breast cancer cell line MDA-MB-231. **Cancer Research**, v.67, p.4182-4189, 2007.
- HALESTRAP, A.P.; PRICE, N. T. The proton-linked monocarboxylate transporter (MCT) family: structure, function and regulation. **Biochemical Journal**, v.343, p.281-299, 1999.
- HALESTRAP, A. P.; MEREDITH, D. The SLC16 gene family—from monocarboxylate transporters (MCTs) to aromatic amino acid transporters and beyond. **Pflügers Archiv**, v.447, p.619-628, 2004.
- HARRIS, P.; SNOW, D. H. The effects of high intensity exercise on the plasma concentration of lactate, potassium and other electrolytes. **Equine Veterinary Journal**, v.20, p.109-113, 1988.
- HIGGINS, A. J.; SNYDER, J. R. The equine manual. **Elsevier Saunders**, London, UK, 2006.
- HOGAN, M. C.; GLADDEN, L. B.; KURDAK, S. S.; POOLE, D. C. Increased [lactate] in working dog muscle reduces tension development independent of pH. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.27, p.371-377, 1995.
- HYYPÄÄ, S.; PÖSÖ, A. R. Fluid, electrolyte, and acid-base responses to exercise in racehorses. **The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice**, v.14, p.121-136, 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da pecuária municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>> Acesso em: 13/08/2012.
- KIRK, P.; WILSON, M. C.; HEDDLE, C.; BROWN, M. H.; BARCLAY, A. N.; HALESTRAP, A. P.

CD147 is tightly associated with lactate transporters MCT1 and MCT4 and facilitates their cell surface expression. **EMBO Journal**, v.19, p.3896-3904, 2000.

KITAOKA, Y.; WAKASUGI, Y.; HOSHINO, D.; MUKAI, K.; HIRAGA, A.; HATTA, H. Effects of high-intensity training on monocarboxylate transporters in Thoroughbred horses. **Comparative Exercise Physiology**, v.6, p.171-175, 2010.

KITAOKA, Y.; MASUDA, H.; MUKAI, K.; HIRAGA, A.; TAKEMASA, T.; HATTA, H. Effect of training and detraining on monocarboxylate transporter MCT 1 and MCT4 in Thoroughbred horses. **Experimental Physiology**, v.96, p.348-355, 2011.

KOENEN, E. P. C.; VAN VELDHUIZEN, A. E.; BRASCAMPA, E. W. Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. **Livestock Production Science**, v.43, p.85-94, 1995.

KOHO, N. M.; VAIHKONEN, L. K.; PBSII A. R. Lactate transport in red blood cells by monocarboxylate transporters. **Equine Veterinary Journal**, v.34, p.55-59, 2002.

KOHO, N. M.; HYYPPÄ, S.; POSO, A. R. Monocarboxylate transporters (MCT) as lactate carriers in equine muscle and red blood cells. **Equine Veterinary Journal**, v.36, p.354-358, 2006.

LIMA, R. A. S.; SHIROTA, R.; BARROS, G. S. C. **Estudo do complexo do agronegócio cavalo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 250p. 2006.

LOVELL, D. K.; REID, T. A.; ROSE, R. J. Effects of maximal exercise on equine muscle: changes in metabolites, pH and temperature. In: **Equine Exercise Physiology**, v.2, p.312-320. Eds. Gillespie JR and Robinson NE. Davis, CA, 1987.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 3ª edição. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2007.

MEREZHINSKAYA, N.; FISHBEIN, W. N. Monocarboxylate transporters: Past, present, and future. **Histology and Histopathology**, v.24, p.243-264, 2009.

MOTA, M. D. S.; REGITANO, L. C. A. Some peculiarities of horse breeding. In: **Livestock Production**. Ed. Intech, Paquistão, Chapter 2, p.33-46, 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**, W. H. Freeman and Company, New York, NY, 2005.

REEBEN, M.; KOHO, N. M.; RAEKALLIO, M.; HYYPPÄ, S.; PÖSÖ, A. R. MCT1 and CD147 gene

polymorphisms in Standardbred horses. **Equine Veterinary Journal**, v.38, p.322-325, 2006.

RESENDE, M. D. V.; LOPES, P. S.; SILVA, R. L.; PIRES, I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.63-77, 2008.

REVOLD, T.; MYKKÄNEN, A. K.; KARLSTRÖM, K.; IHLER, C. F.; PÖSÖ, A. R.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B. Effects of training on equine muscle fibres and monocarboxylate transporters in young Coldblooded Trotters. **Equine Veterinary Journal**, v.42, p.289-295, 2010.

RIVERO, J. L. L.; TALMADGE, R. J.; EDGERON, V. R. Myosin heavy chain isoforms in adult equine skeletal muscle: and immunohistochemical and electrophoretic study. **Anatomical Record**, v.246, p.185-194, 1996.

SERRANO, A. L.; QUIROZ-ROTHER, E.; RIVERO, J. L. L. Early and long-term changes of equine skeletal muscle in response to endurance training and detraining. **Pflügers Archiv European Journal of Physiology**, v.441, p.263-274, 2000.

SNOW, D. H.; GUY, P. S. Muscle fibre type composition of a number of limb muscles in different types of horse. **Research in Veterinary Science**, v.28, p.137-144, 1980.

VALBERG, S.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B.; LINDHOLM, A.; PERSSON, S. Energy metabolism in relation to skeletal muscle fibre properties during treadmill exercise. **Equine Veterinary Journal**, v.17, p.439-444, 1985.

WALLIN, L.; STRANDBERG, E.; PHILIPSSON, J. Genetic correlations between field test results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-year-olds and life time performance results in dressage and show jumping. **Livestock Production Science**, v.82, p.61-71, 2003.