

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

NAIANDRA DITTRICH

**RESPOSTAS CARDIORRESPIRATÓRIAS,
NEUROMUSCULARES E BIOQUÍMICAS NO TEMPO DE
EXAUSTÃO EM PROTOCOLO CONTÍNUO E INTERMITENTE
NA CORRIDA**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis
2012

NAIANDRA DITTRICH

**RESPOSTAS CARDIORRESPIRATÓRIAS,
NEUROMUSCULARES E BIOQUÍMICAS NO TEMPO DE
EXAUSTÃO EM PROTOCOLO CONTÍNUO E INTERMITENTE
NA CORRIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final para obtenção do título de mestre em Educação Física.

Orientador: Dr. Luiz Guilherme A. Guglielmo

Florianópolis
2012


NAIANDRA DITTRICH

Respostas cardiorrespiratórias, neuromusculares e bioquímicas no tempo de exaustão em protocolo contínuo e intermitente na corrida

Elaborada por: Naiandra Dittrich

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Florianópolis, 24 de fevereiro de 2012.

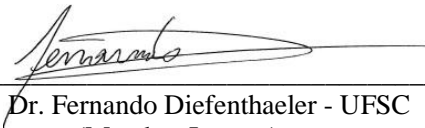


Prof. Dr. Fernando Diefenthaler
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo (Orientador)



Prof. Dr. Fernando Diefenthaler - UFSC
(Membro Interno)



Prof. Dr. Herbert Gustavo Simões – UCB
(Membro Externo)

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa, esse trabalho, é apenas o resultado e o reflexo de algo que foi realizado em equipe. E por isso, muito mais importante que esse resultado, foram os caminhos percorridos para chegar até aqui. Essa equipe foi formada por muitas pessoas que independente do tamanho da contribuição, permitiram que esse trabalho fosse finalizado.

Essa equipe foi primeiramente abençoada e guiada por Deus. Então, **Papai do céu**, obrigado por iluminares o nosso caminho e permitir a todos chegarmos até aqui. Essa equipe também teve uma chefe, e essa chefe se chamava **Dirce = Dissertação**, pois é ela quem guiava a todos... ela quem dizia o caminho a seguir, a hora de parar, a hora de continuar e a hora de dar o trabalho por encerrado. E para que as ordens dessa chefe fossem atendidas, muitos trabalhos foram realizados e por isso eu tenho que agradecer todos os trabalhadores. Agradeço então, a minha família: **pai, mãe e Irmã** não por colocarem a mão na massa, mas por me inspirarem e me ensinarem por meios das suas atitudes que quando se faz o que se gosta o trabalho se torna, no mínimo, mais prazeroso e gratificante... então, obrigado por permitirem que eu fizesse as minhas escolhas e mais do que isso, obrigado por apoiar.

Agradeço também aos meus companheiros de trabalho: **Fabia, Talitinha, Marília, Priscila, Mariana, Juliano, Fran, Anderson, Lucas, Jolmerson, Kristopher, Leandro, Vitor, Carminatti, Mariana Caputo, Ortiz, Fábio, Vanderson, Dani, Dal Pupo, Luis Antonio, Paulo César, Thiago** e todos aqueles que passaram pelo LAEF nesse tempo. Meu sincero obrigado, todos vocês contribuíram de alguma forma, seja pelas discussões, pelas conversas, pelos questionamentos, pela amizade e companheirismo, por colocarem a mão na massa e me ajudarem nas inúmeras coletas e por segurarem a barra comigo quando parecia que todos os equipamentos do LAEF conspiravam contra.

Obrigado aos **atletas** e as **assessorias esportivas** que formaram as engrenagens de tudo isso, pois sem eles o trabalho não iria para frente independente do número de trabalhadores.

Além desses, eu tenho que agradecer alguns trabalhadores em específico que ganharam o prêmio de destaque. **Ricardo**, tu fosse o exemplo de versatilidade, fosse meu co-orientador, meu amigo, meu atleta, meu crítico e aquele que mais participou desse processo todo. Obrigado por todas as tarefas que executasse, pelos ensinamentos que

me passasse, por me ajudares em todo o caminho e por além de tudo, seres um exemplo de pessoa.

Prof. Fernando, tu fosse o cara que trouxesse a técnica nova para o grupo. Fosse o inovador e a pessoa que nos ensinou a melhorar e aprimorar ainda mais o trabalho que já vinha sendo executado. Então, obrigado pela paciência, pela ajuda nas coletas, por estares sempre disposto a ajudar e por teres enriquecido esse trabalho e pelos ensinamentos passados.

Mariana, tu fosse o exemplo de interdisciplinaridade e companheirismo, no fim já era considerada como sendo parte do LAEF. Obrigada por incrementares o nosso trabalho com a bioquímica. Obrigada por dispores do seu tempo para nos ajudar. Obrigada por fazeres o teu mestrado e o meu junto, praticamente. Obrigada pelos ensinamentos técnicos e teóricos e por me acompanhares nessa jornada tanto dentro quanto fora do laboratório.

Essa equipe também teve um Supervisor, o **prof. Luiz Guilherme**, que em função do numero de trabalhos que acompanha não podia estar presente sempre. Mas que sempre escutava e resolvia todos os problemas da construção. Professor, obrigado por teres sido atleta e supervisor desse trabalho. Obrigado pela paciência, por acreditar que iria dar certo e por permitires e fazeres com que esse trabalho chegasse ao fim.

Obrigado a **Dona Rose** pela sua prontidão em resolver o que estava ao seu alcance e por abastecer os trabalhadores com muita cafeína.

Obrigado aos **meus amigos que aqui não estão citados**, pois embora não tenham ajudado na prática, ajudaram compreendendo a minha ausência em alguns momentos.

Obrigado a **banca de mestrado** por avaliar o resultado final. É a partir dessas correções que aprendemos a fazer um trabalho melhor e seguirmos em constante evolução.

Obrigado ao **Hospital Universitário** pelos exames.

Obrigado a **CAPES/CNPQ** por pagar os “salários” (bolsa).

Obrigado a **TODOS** por contribuírem com a minha formação pessoal, por me acompanharem durante essa jornada, por colocarem senso de humor nos momentos difíceis e por me darem a mão quando eu precisei de ajuda.

Mais uma vez, essa dissertação é a prova do trabalho em equipe.

Espero que todos estejam satisfeitos.

Por fim, Meu Sincero, Obrigado!

“Acho que fiz tudo do melhor jeito, meio torto, talvez, mas tenho tentado da maneira mais bonita que sei”

RESUMO

A máxima fase estável de lactato (MLSS) representa a intensidade que delimita o exercício sustentável daquele que proporciona distúrbios progressivos na homeostase celular. Em função da sua elevada sensibilidade aos efeitos fisiológicos do treinamento e, também, da estreita relação com a *performance*, treinamentos contínuos e intervalados em intensidades próximas a MLSS têm sido utilizados como referência para melhorar o desempenho aeróbio. Dessa forma, considerando a sua importância, parece fundamental conhecer a quantidade de esforço que o atleta suporta, bem como entender quais são os mecanismos associados ao tempo de exaustão (TE) nessa intensidade. Assim, o objetivo do presente estudo foi comparar o tempo de exaustão e as respostas cardiorrespiratórias, neuromusculares e bioquímicas em protocolo contínuo e intervalado na MLSS. O modelo intervalado foi realizado com 5 min de exercício intercalados com 1 min de pausa passiva. Para tanto, onze corredores treinados ($32,7 \pm 6,9$ anos; $75,3 \pm 5,3$ kg; $176,8 \pm 5,7$ cm; $11,6 \pm 4,0$ de %G) participaram do estudo. Todos os atletas realizaram um teste incremental máximo, 2-5 testes submáximos (48h de intervalo) com duração de 30 min para determinar a máxima fase estável contínua (MLSS_{con}) e intermitente (MLSS_{int}), e dois testes, randomizados, em ambos protocolos até a exaustão, sendo que nesses últimos testes os atletas realizaram coletas de sangue venoso pré e pós para determinação de parâmetros bioquímicos e também realizaram exercício de força isométrica pré e pós para verificar a perda de força em função da corrida. Os dados foram expressos como média \pm DP. Para comparação dos resultados entre os modos de exercício, foi realizado o teste t de student para dados pareados. O nível de significância adotado foi $p < 0,05$. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas foi utilizada para comparar as mudanças das variáveis fisiológicas ao longo do TE e entre os exercícios realizados de forma contínua e intermitente. A velocidade da MLSS_{int} e a concentração de lactato nessa intensidade ($vMLSS = 15,26 \pm 0,97$ km.h⁻¹, [La] = $4,63 \pm 1,78$ mM) foram maiores que na MLSS_{con} ($vMLSS = 14,53 \pm 0,93$ km.h⁻¹, [La] = $3,90 \pm 1,21$ mM), enquanto o TE na MLSS_{con} foi maior que na MLSS_{int} (67 ± 11 min e 57 ± 15 min, $p < 0,05$). Em relação as alterações neuromusculares, não foram encontradas diferenças entre os dois modelos de exercício, mas ocorreu perda de força tanto no modelo contínuo (14,80 %) quanto no intermitente (13,14%). Para as respostas bioquímicas também não ocorreu diferença entre o TE contínuo e intermitente, mas para todos os parâmetros foi encontrada diferença pós TE tanto no modelo contínuo (CK = 65%; LDH = 39%; Cortisol =

133%, Testosterona = 25%) quanto no intermitente (CK= 46%; LDH= 25%; Cortisol = 126% , Testosterona = 31%). Por fim, conclui-se que, mesmo em velocidades relativas, o TE na MLSS é significativamente maior no modelo contínuo que no intervalado. O maior TE encontrado na MLSScon pode ser explicado pelo fato de que como na MLSSint a velocidade é maior, o exercício pode exigir uma maior demanda metabólica e conseqüentemente uma maior depleção de substrato, maior liberação de hormônios de estresse, maior acidose metabólica, além de gerar maior fadiga neuromuscular em função do maior número de unidades motoras recrutadas. Isso parece ser confirmado pelo fato de mesmo com TE inferior no modelo intermitente (-20%), as respostas bioquímicas e neuromusculares terem sido alteradas na mesma magnitude.

ABSTRACT

The maximal lactate steady state (MLSS) represents an intensity that delimits the sustainable exercise from that which provides progressive disturbances in cellular homeostasis. Because of its high sensitivity to the physiological effects of training and, also, its relationship with performance, continuous and interval training at intensities in or close to MLSS have been used as reference to improve the aerobic performance. Thus, considering its importance, the acknowledgment about the amount of effort that the athlete supports, as well as the understanding of the mechanisms associated with the time to exhaustion (TE) in this specific intensity seems to be fundamental. Therefore, the purpose of the present study was to compare the TE and the cardiorespiratory, neuromuscular and biochemical responses in continuous and interval protocol at MLSS. The intermittent protocol was performed with 5 min of running, interspaced by 1 min of passive rest. Eleven trained male (32.7 ± 6.9 years; 75.3 ± 5.3 kg; 176.8 ± 5.7 cm; 11.6 ± 4.0 de %G) took part of the study. All the athletes performed a maximal incremental test, 2-5 submaximal tests of 30 min to determine the maximal lactate steady state continuous (MLSS_{con}) and intermittent (MLSS_{int}) and 2 randomized test, in both protocols, until exhaustion. Blood samples were collected pre and post TE in order to determine the biochemical parameters and, also Isometric exercises were performed before and after the TE to verify the strength loss in function of the race. Data are presented as mean \pm SD. The Student's t-test for paired data was used to compare different exercise modes. ANOVA two-way complemented with repeated measures was used to compare the changes of physiological variables during the TE and between exercises performed in continuous and interval model. The level of significance was $p < 0.05$. The velocity of the MLSS_{int} and lactate concentration ([La]) at this intensity ($vMLSS = 15.26 \pm 0.97$ km.h-1, [La] = 4.63 ± 1.78 mM) were higher than in MLSS_{con} ($vMLSS = 14.53 \pm 0.93$ km.h-1, [La] = 3.90 ± 1.21 mM), while the TE at MLSS_{con} was longer than MLSS_{int} (67 ± 11 min e 57 ± 15 min, $p < 0.05$). Regarding the neuromuscular changes, no differences was found between the two exercise protocols, however there was loss of strength in continuous (14.80%) and interval (13.14%) protocols. For the biochemical responses there was no difference between TE continuous and intermittent, but it was found a significant difference between pre and post test in TE continuous (CK = 65%; LDH = 39%; Cortisol = 133%, Testosterone = 25%) and intermittent (CK= 46%; LDH= 25%; Cortisol = 126%, Testosterone = 31%) for all parameters. Thus, it can be concluded that even at relative velocities, the

TE at $MLSS_{con}$ is significantly longer than at $MLSS_{int}$. This could be explained by the higher velocity in $MLSS_{int}$, which requires a higher metabolic demand and, consequently, greater substrate depletion, higher stress hormones release and higher metabolic acidosis. It also generates a greater neuromuscular fatigue in function of the higher number of motor units recruited. This seems to be confirmed by the fact that even with lower TE in the interval model (-20%), the biochemical and neuromuscular responses were altered on the same magnitude in both protocols.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Características do protocolo intermitente para determinação da $MLSS_{int}$ 22
- Figura 2** - Diferenças no VO_2 , VE e distância percorrida entre TE_{con} e TE_{int} 29
- Figura 3** - Contração voluntária máxima (CVM) e *root mean square* (RMS) do Vasto lateral e reto femoral mensuradas pré e pós tempo de exaustão no modelo contínuo e intervalado. 32
- Figura 4** - Respostas bioquímicas do cortisol, testosterona, CK e LDH plasmáticos mensuradas pré e pós tempo de exaustão no modelo contínuo e intervalado. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média \pm DP das variáveis fisiológicas obtidas durante o teste incremental máximo	25
Tabela 2 – Média \pm DP da velocidade e das variáveis fisiológicas no exercício contínuo e intervalado.....	26
Tabela 3 - Comportamento dos parâmetros cardiorrespiratórios durante o tempo de exaustão na MLSS	27
Tabela 4 – Comportamento individual e médio das [La] durante o TE	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CK** – Creatina kinase
CP – creatina fosfato
DP – desvio-padrão
LDH – Lactato desidrogenase
LL – limiar de lactato
FC – frequência cardíaca
FC_{max} – frequência cardíaca máxima
MLSS – máxima fase estável de lactato
MLSS_{con} – máxima fase estável de lactato em protocolo contínuo
MLSS_{int} - máxima fase estável de lactato em protocolo intervalado
OBLA – onset of blood lactate accumulation
PSE – percepção subjetiva de esforço
PV – pico de velocidade
R – quociente respiratório
TE – tempo de exaustão
TE_{con} – tempo de exaustão determinado em protocolo contínuo
TE_{int} – tempo de exaustão determinado em protocolo intermitente
VE – ventilação
VE_{max} – ventilação máxima
VCO₂ – produção de dióxido de carbono
VO₂ – consumo de oxigênio
VO_{2max} – consumo máximo de oxigênio
VL – vasto lateral
vMLSS – velocidade referente à máxima fase estável de lactato
RMS – *root mean square*
RF – reto femoral
[La] – concentração de lactato sanguíneo
[La]MLSS – concentração de lactato sanguíneo na máxima fase estável de lactato
[La]pico – concentração pico de lactato

SUMÁRIO

1.1 Situação problema.....	1
1.2 Objetivo Geral.....	4
1.3 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipóteses.....	5
1.5 Justificativa.....	5
2. REVISÃO PRELIMINAR DE LITERATURA.....	6
2.1 Máxima fase estável de lactato.....	6
2.2 Tempo de exaustão.....	9
2.3 Mecanismos de fadiga em eventos de longa duração.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Modelo do estudo.....	17
3.2 Sujeitos do estudo.....	18
3.3 Instrumentos de medida.....	18
3.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas.....	18
3.3.2 Obtenção das variáveis fisiológicas.....	18
3.3.3 Eletromiografia.....	19
3.3.4 Dinamometria.....	19
3.3.5 Obtenção das variáveis bioquímicas.....	19
3.3.6 Percepção de esforço.....	20
3.4 Coleta de dados.....	20
3.5 Procedimentos para coleta de dados.....	21
3.5.1 Avaliação antropométrica	21
3.5.2 Protocolo incremental na esteira.....	21
3.5.3 Protocolo contínuo para determinação da MLSScon.....	21
3.5.4 Protocolo intermitente para determinação da MLSSint.....	22
3.5.5 Protocolo para obtenção dos valores da eletromiografia.....	23
3.5.6 Protocolo para a determinação da força isométrica.....	23
3.5.7 Protocolo contínuo para determinação do TE na MLSScon.....	23

3.5.8 Protocolo intermitente para determinação do TE na MLSSint..	23
3.5.9 Determinação da frequência cardíaca e do VO ₂	24
3.5.10 Protocolo da coleta de sangue para determinar as [La].....	24
3.5.11 Protocolo para análise das variáveis Bioquímicas.....	24
3.5.10 Protocolo da coleta da percepção de esforço.....	24
3.6 Tratamento estatístico.....	25
4. RESULTADOS.....	25
5. DISCUSSÃO.....	33
6. CONCLUSÕES.....	44
7. REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE.....	58
TERMO DE CONSENTIMENTO	61

INTRODUÇÃO

1.1 Situação problema

As respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante o exercício realizado em diferentes domínios de intensidades têm sido consideradas essenciais tanto para a prescrição do exercício aeróbio de longa duração (> 30 minutos) quanto para elaboração de modelos experimentais.

As intensidades de exercício são classificadas em três domínios fisiológicos, sendo que estes se diferenciam em razão de diferentes respostas fisiológicas ao longo do tempo como, por exemplo, concentração de lactato, pH e consumo de oxigênio (GAESSER; POOLE, 1996). Cada domínio fisiológico possui diferentes significados metabólicos e, conseqüentemente, diferentes adaptações ao organismo (BENEKE; LEITHAUSER; OCHENTEI, 2011). Assim, a determinação precisa dessas zonas de transição metabólica permite que as sessões treinamento aeróbio sejam realizadas de acordo com o objetivo de cada atleta.

O primeiro domínio fisiológico classifica-se como moderado e tem seu início a partir dos valores de repouso, caracterizando-se como uma intensidade de exercício que pode ser mantida sem acúmulo de lactato sanguíneo. Nessa intensidade, o VO_2 aumenta mono exponencialmente, alcançando um estado estável dentro de 80-110 segundos (GAESSER; POOLE, 1996), sendo que a duração do exercício nessa intensidade pode ser limitada por diversos fatores tais como, depleção de substratos (glicogênio muscular e hepático), desequilíbrio hídrico e eletrolítico ou ainda pela termorregulação.

Em seguida, o segundo domínio metabólico (pesado) começa a partir da menor intensidade de esforço em que o lactato se eleva, apresentando como características o aumento bi exponencial do VO_2 , o aparecimento do componente lento e a maior produção de lactato sanguíneo. Este domínio tem como limite superior a máxima fase estável de lactato (MLSS).

A MLSS representa a intensidade que delimita o exercício sustentável daquele que proporciona distúrbios progressivos na homeostase celular (BENEKE; LEITHAUSER; HÜTLER, 2001). Assim sendo, a MLSS é definida como a mais alta intensidade de trabalho que pode ser mantida por um longo período sem o acúmulo contínuo de lactato sanguíneo (BENEKE, 2003; BILLAT et al., 2003).

Nestas intensidades de exercício, a sua tolerância tem sido fortemente ligada ao nível inicial de glicogênio muscular, com a fadiga estritamente relacionada com a depleção de glicogênio muscular.

Já, acima da MLSS está o domínio severo, no qual o VO_2 aumenta bi exponencialmente atingindo seus valores máximos ao final do exercício (HILL; POOLE; SMITH, 2002). Além disso, nessa intensidade não há estabilização de nenhuma variável metabólica, especificamente, a taxa de liberação de lactato sanguíneo é maior que a taxa de remoção, com acúmulo subsequente e aumento na relação entre lactato/piruvato e concentração do próton $[H^+]$ (GRECO; CAPUTO; DENADAI, 2008). Contudo, em intensidades correspondentes a máxima velocidade aeróbia ou acima desta, a cinética do VO_2 aumenta exponencialmente até atingir os seus valores máximos.

Sabe-se que a precisão na prescrição da intensidade do treinamento é um dos principais aspectos que podem modificar as respostas metabólicas de atletas treinados (DE LUCAS; DENADAI; GRECO, 2009). Dessa forma, em função da MLSS ser o padrão ouro da capacidade aeróbia este índice tem sido utilizado como referência para a prescrição de intensidade de treinamento aeróbio (BENEKE; DUVILARD, 1996).

Dentre os métodos de treinamento utilizados para aprimoramento da capacidade aeróbia, o modelo contínuo apresenta-se como um método eficaz (BENEKE; DUVILARD, 1996, BILLAT et al., 2003), entretanto treinar de forma intervalada também parece ser atraente para atletas de *endurance*, uma vez que utiliza uma intensidade de exercício suficiente para proporcionar estresse no sistema glicolítico. Este estresse resulta em uma produção significativa de lactato, estimulando uma melhora na capacidade da remoção desse metabólito (DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000), além disso, o exercício intermitente também é considerado uma estratégia para aumentar a sobrecarga dos treinos de longa duração (SEILER; HETLELID, 2005; PHILP et al., 2008).

O exercício intervalado envolve a repetição de intensidades altas (igual ou superior a MLSS) intercaladas com períodos de recuperação passiva ou ativa, que possibilitam a realização de durações proporcionalmente maiores de atividade na mesma carga absoluta, ou durações similares com cargas mais elevadas (BENEKE et al., 2003). Corroborando com esse achado, Beneke et al. (2003) verificaram que a MLSS, quando determinada em protocolo intervalado, é aproximadamente 6% superior da MLSS determinada em protocolo

contínuo, sendo que esse aumento depende do modo de exercício e da relação esforço:pausa. Assim, considerando que os modelos de treinamentos também são prescritos de forma intermitente, é importante que a MLSS também seja determinada nesse modo de exercício, a fim de aumentar a especificidade do treinamento intervalado. Contudo, em relação aos efeitos do treinamento, Philp et al. (2008) verificaram que oito semanas de treinamento contínuo e intermitente em intensidades próximas da MLSS, em corredores treinados, melhorou a velocidade associada a essa intensidade em ambos modelos (8% e 5%, respectivamente).

Dessa forma, considerando a importância de uma prescrição adequada em ambos modelos de treinamento, parece fundamental conhecer a quantidade de esforço que o atleta suporta, bem como entender quais são os mecanismos associados ao tempo de exaustão (TE) nessa intensidade, para que assim os treinamentos sejam prescritos baseados nesses limites. Na intensidade da MLSS, o tempo de exaustão parece não estar bem estabelecido, entretanto alguns estudos sugerem que seu valor esteja próximo de 60 min (BILLAT, 1996; BILLAT et al. 2003). No entanto, existe uma lacuna na literatura acerca dos mecanismos associados à fadiga durante o exercício de longa duração (superior a 30 minutos) realizado de forma contínua e intermitente.

A fadiga é um fenômeno que pode ser descrito como à incapacidade de manutenção de uma determinada intensidade, determinando uma redução no desempenho (FITTS, 1994). Está fadiga pode estar associada aos eventos que envolvem a contração muscular (periférica) ou a fatores associados ao funcionamento cerebral (central), sendo que a percepção de esforço parece ser um índice válido para determinar os efeitos da fadiga no sistema nervoso central. Ross et al (2010) em um interessante estudo com 8 corredores bem treinados verificaram que uma corrida de 20km está associada com a redução (15% ± 12%) de gerar força máxima por meio da contração voluntária máxima, mostrando assim que parece existir uma associação entre a redução de força e uma corrida de 20km.

Além dos fatores neuromusculares, alguns fatores bioquímicos como hormônios e enzimas, que talvez não sejam responsáveis pela exaustão, são importantes marcadores do comportamento do organismo perante o estresse físico, como exercícios de alta intensidade e longa duração. Prova disso, é o estudo de França et al (2006) que verificaram a associação de marcadores de lesão muscular (CK e LDH) e hormônios relacionados a fontes energéticas (cortisol e testosterona) após uma

corrida de maratona. Dessa forma, além de fatores fisiológicos, a exaustão também pode estar associada a fatores neuromusculares e bioquímicos.

Nessa perspectiva, tendo em vista que a prescrição de exercícios para melhora da capacidade aeróbia é geralmente realizada em velocidades próximas a MLSS, parece necessário entender as respostas desses parâmetros durante exercícios realizados nessa intensidade, assim como, predizer quais são os mecanismos que podem influenciar a exaustão e levar a interrupção do exercício (BARON, et al. 2003) tanto no modelo contínuo como no intermitente.

Assim, formularam-se as seguintes questões a serem investigadas: Quais são os mecanismos associados ao TE na MLSS no modelo contínuo e intervalado de exercício? Será que o TE na velocidade da MLSS (MLSS_v) determinado de forma intervalada apresenta diferença quando comparado com o TE determinado de forma contínua na corrida?

1.2 Objetivo Geral

Determinar e comparar o tempo de exaustão, as respostas cardiorrespiratórias, neuromusculares e bioquímicas em protocolo contínuo e intervalado de corrida na intensidade referente à máxima fase estável de lactato (MLSS)

1.3 Objetivos específicos

Determinar e comparar a vMLSS em protocolo contínuo e intervalado;

Determinar e comparar as respostas fisiológicas (FC, VO₂, R, VE, [La] velocidade) durante o TE na MLSS_{con} e MLSS_{int};

Identificar e comparar os indicadores neuromusculares (força) no teste de contração voluntária máxima (CVM) na extensão do joelho pré e após o TE na MLSS_{con} e MLSS_{int};

Identificar e comparar as respostas bioquímicas (Cortisol, Testosterona, LDH e CK) pré e após o TE na MLSS_{con} e MLSS_{int};

Comparar as respostas neuromusculares e bioquímicas entre os dois modelos de exercício (contínuo e intermitente).

1.4 Hipóteses

H1: A vMLSS e as respostas fisiológicas (FC, VO₂, R, VE, [La]) determinadas de forma contínua são menores do que quando determinadas de forma intervalada;

H2: Os indicadores neuromusculares serão alterados em maior magnitude no modelo contínuo quando comparados ao modelo intervalado;

H3: Os indicadores bioquímicos serão alterados em maior magnitude no modelo contínuo quando comparados ao modelo intervalado;

H4: O TE determinado em protocolo intervalado será maior do que aquele determinado de forma contínua;

1.5 Justificativa

A prescrição adequada do treinamento de endurance envolve a manipulação da intensidade, da duração e da frequência do exercício. Dessa forma, em função da ótima validade para a avaliação da capacidade aeróbia e da estreita relação com a *performance* (BENEKE et al., 2003, BILLAT et al., 2003), treinamentos em intensidades próximas a MLSS têm sido utilizados como referência para melhorar o desempenho aeróbio. Além disso, a MLSS parece indicar uma intensidade limítrofe relevante para a prescrição de treinamento de endurance, porque acima desse limite cargas inadequadas de treinamento podem rapidamente resultar em consequências negativas, podendo levar a sintomas de *overreaching* e *overtraining* (BENEKE, LEITHAUSER, OCHENTEI, 2011).

As avaliações para a determinação da MLSS geralmente são realizadas de forma contínua, entretanto as intensidades encontradas são utilizadas como referência tanto para prescrição de treinamentos contínuos quanto intervalados. Tendo em vista que estudos demonstraram que a MLSS quando determinada no modelo intervalada está acima da MLSS contínua (BENEKE et al., 2003, PEREIRA et al., 2006, GROSSL, 2011) parece que a utilização da velocidade referente a MLSS para o treinamento intervalado acaba sendo subestimada, ocorrendo assim uma prescrição inapropriada da intensidade do exercício (BENEKE et al., 2003).

Nessa perspectiva, a determinação da MLSS intervalada parece ser uma vantagem, visto que esse modelo de treinamento possibilita a aplicação de uma maior sobrecarga (intensidade x volume). Além disso,

o treinamento intervalado permite a aplicação de maior sobrecarga ao organismo, o que resulta em maior aprimoramento aeróbio.

Em conjunto a MLSS, outro importante índice que deve ser ressaltado é o tempo de exaustão (TE), visto que este representa a quantidade (volume) de esforço que o atleta suporta. Nessa perspectiva, parece que apenas um estudo (GROSSL, 2011), realizado com ciclistas em nosso laboratório, verificou o tempo de exaustão na MLSS em protocolo contínuo e intermitente. Contudo, é possível notar ainda, a ausência de informações suficientes na literatura sobre os mecanismos que explicam a suspensão do exercício na intensidade correspondente a MLSS (BARON, et al, 2008). Assim, além das respostas fisiológicas, avaliar as respostas neuromusculares (força e RMS) e bioquímicas (hormônios e enzimas, por exemplo), também pode contribuir para uma melhor compreensão dos fatores associados com a suspensão do exercício.

Dessa forma, uma vez que a prescrição do treinamento aeróbio (contínuo e intervalado) na corrida é geralmente prescrita em intensidades próximas a MLSS, os resultados obtidos no presente estudo poderão fornecer novas informações acerca das respostas fisiológicas, bioquímicas e neuromusculares nessa intensidade de exercício, podendo assim contribuir com a compreensão e prescrição do treinamento de endurance.

2. REVISÃO PRELIMINAR DE LITERATURA

2.1 Máxima fase estável de lactato

Para avaliação da aptidão aeróbia, o consumo máximo de oxigênio (VO_2max) foi por muito tempo considerado o principal indicador fisiológico. Contudo, atualmente tem sido demonstrado que este índice não explica isoladamente a performance em atividades com predominância aeróbia (NOAKES, 1988). Dessa forma, maior atenção tem sido dada as respostas $[La]$ sanguíneo, pois este índice parece ser mais sensível aos efeitos do treinamento que o VO_2max . Mesmo em grupos de atletas altamente treinados, com valores similares de VO_2max , a resposta do lactato sanguíneo é altamente relacionada com o desempenho aeróbio (DENADAI, 1999).

A máxima fase estável de lactato (MLSS) representa a mais alta concentração de lactato sanguíneo que pode ser mantida ao longo do tempo, sem uma contínua acumulação de lactato no sangue (BILLAT et al., 2003; BENEKE; HÜTLER; LEITHÄUSER, 2000). Indica também,

uma intensidade em que ocorre máximo balanço entre a taxa de liberação e remoção de lactato, resultando em um estado estável da [La]. Dessa forma a MLSS é considerada como o limite superior do domínio pesado (BENEKE; HÜTLER; LEITHÄUSER, 2000).

Alguns estudos tem considerado a MLSS como uma medida padrão-ouro para avaliação da capacidade aeróbia (BILLAT, et al, 2003, BENEKE et al, 2003), além de servir de referência a prescrição da intensidade do exercício de média e longa duração (maior ou igual a 30 min) (PRINGLE; JONES, 2002; BENEKE, 2003).

A precisão na prescrição da intensidade do exercício é um dos principais aspectos que podem modificar as respostas ao treinamento de atletas bem treinados (DE LUCAS; DENADAI; GRECO, 2009). Dessa forma, a MLSS parece indicar uma intensidade interessante para prescrição do treinamento de *endurance*, pois acima deste limite, pode ocorrer o treinamento inadequado levando aos sintomas do *over-training* e *over-reaching* (BENEKE et al., 2003).

A utilização da MLSS como intensidade de treinamento para melhorar a capacidade aeróbia apresenta-se como um modelo eficaz (WELTMAN et al., 1992, BILLAT et al., 2004, PHILP et al., 2008), sendo que esta é utilizada tanto para a prescrição de treinamento contínuo quanto intervalado. É importante destacar que a vMLSS é geralmente determinada por protocolos contínuos de longa duração, entretanto, a prescrição do treinamento aeróbio em muitos esportes também é realizada de forma intervalada. Assim, a prescrição do treinamento intervalado na MLSS deve ser realizada com cautela quando esta for determinada de forma contínua, pois, um estímulo apropriado de treinamento (intensidade e volume) tem que ser baseado na capacidade individual de cada atleta a fim de evitar o treinamento inadequado e o *overtraining* (DENADAI, 2000). Por isso a importância de determinar a vMLSS também de forma intermitente.

O exercício intermitente é a base do treinamento intervalado e envolve a repetição de altas intensidades (igual ou superior a vMLSS) intercalados com períodos de recuperação (passiva ou ativa), que permitem durações proporcionalmente maiores do que realizar exercícios com a mesma carga absoluta ou durações semelhantes com cargas mais elevadas (BENEKE et al., 2003).

Estudos anteriores encontraram que a vMLSS_{int} encontra-se em uma intensidade de 3% a 4% maior que a vMLSS_{con} na natação (DEKERLE et al., 2003, GRECO et al., 2010), 6% a 10% no ciclismo (BENEKE et al., 2003) e aproximadamente 6% na corrida (PEREIRA

et al., 2006). Beneke et al. (2003) verificaram que a MLSS é maior quando determinada de forma intermitente. Neste estudo, avaliando 19 ciclistas, os autores compararam os valores obtidos em um teste tradicional contínuo, com dois testes intermitentes, sendo que nestes foram realizadas interrupções de 30s ou 90s a cada 5 min, respectivamente. Os autores encontraram que a intensidade em que ocorre a MLSS foi significativamente maior no protocolo com 90s de interrupção ($310 \pm 31W \sim 81,5\% \text{ VO}_2\text{max}$), que no de 30s ($300 \pm 30W \sim 79,2\% \text{ VO}_2\text{max}$), e que ambas foram maiores do que a obtida na forma contínua ($277 \pm 24W \sim 73,7\% \text{ VO}_2\text{max}$).

Nesse mesmo modo de exercício GROSSL (2011), em um estudo com 15 *mountain bikers* moderadamente treinados, e com protocolo intermitente de 5 min de exercício para 1 min de recuperação passiva, também encontraram valores superiores de intensidade de MLSS quando determinado de forma intermitente ($268 \pm 29,3 \text{ W}$) em relação ao protocolo contínuo ($251 \pm 29,2 \text{ W}$), ou seja, aumento de aproximadamente 6%.

Utilizando o mesmo modelo intermitente, entretanto em corredores, Pereira et al (2006) também encontraram valores de MLSS significativamente maiores quando determinado de forma intermitente (velocidade = $15,8 \pm 0,8 \text{ km/h}$; $[\text{La}] = 4,2 \pm 0,7 \text{ mM}$) em relação ao modelo contínuo (velocidade = $14,6 \pm 0,7 \text{ km/h}$; $[\text{La}] = 6,8 \pm 2,0 \text{ mM}$).

Já em relação aos efeitos de treinamento na intensidade associada a MLSS, Billat et al. (2004) avaliaram os efeitos de seis semanas de treinamento na MLSS (2x por semana), em corredores master de longa distância, e encontraram um aumento significante de $4,2 \pm 3,9\%$ na velocidade referente a MLSS, entretanto, a $[\text{La}]_{\text{MLSS}}$ não apresentou diferença significativa com o treinamento.

Corroborando com esses achados, Philp et al (2008) analisaram os efeitos de oito semanas de treinamentos contínuo (desconsiderando as pausas para coleta de sangue) e intervalado na intensidade da MLSS, em corredores treinados. Os autores verificaram uma melhora na velocidade de corrida tanto no modelo contínuo ($12,3 \pm 1,5$ para $13,4 \pm 1,6 \text{ km.h}^{-1}$) como no intermitente ($12,2 \pm 1,9 \text{ km.h}^{-1}$ para $12,9 \pm 1,9 \text{ km.h}^{-1}$).

Por fim, a partir desses achados, percebe-se a importância da prescrição do treinamento ser realizado no mesmo modo da avaliação. Além disso, é possível perceber que a intensidade da MLSS no modelo intermitente está relacionada com a duração do esforço e pausa (DE LUCAS; DENADAI; GRECO, 2009), visto que quanto menor a duração

do esforço ou maior a duração da recuperação maior é o percentual em que ocorre a MLSS.

2.2 Tempo de exaustão

O tempo máximo de sustentação do exercício durante uma determinada intensidade é chamado de tempo de exaustão ou tempo limite (TE) (BILLAT et al., 1994), sendo que a relação entre diferentes intensidades de exercício e o tempo de tolerância ao mesmo vem sendo frequentemente estudada na literatura (BILLAT et al., 1999). Entretanto a maioria dos estudos realizados para verificar o tempo de sustentação foram realizados em intensidades próximas ao VO_2 max (BILLAT et al., 1994, BILLAT et al., 1995, MESSONIER et al., 2002). Poucos são os estudos que verificaram o TE em intensidades próximas ou na vMLSS (BILLAT et al. 2004, BARON et al, 2008, FONTANA; BOUTELLIER; KNÖPFLI-LENZIN, 2009), mas a partir dos resultados encontrados sugere-se que esse tempo esteja próximo de 60 minutos.

Os estudos acerca do tempo de exaustão estão relacionados em torno dos fatores que limitariam a continuidade do exercício, seja por fatores centrais (comandos eferentes) ou periféricos (bioenergética muscular) (NOAKES, 1988; BASSETT; HOWLEY, 2000; BARON et al., 2008).

Baron et al. (2008), em um estudo com 11 ciclistas bem treinados encontraram que a exaustão na MLSS ocorre, em média, a 55 min. O objetivo do estudo foi verificar quais os mecanismos que estão associados ao término do exercício nessa intensidade. Os achados do estudo acima demonstraram que os valores de VO_2 , VCO_2 e QR não variaram entre 10% e 100% do TE, em contrapartida, os valores de VE e FC aumentaram significativamente entre o 10% e 100% do TE. Essa pesquisa também evidenciou uma diminuição significativa na [La] da MLSS entre o TE e o 20º minuto, indicando uma redução da produção de lactato ou uma maior utilização pela musculatura periférica (GLADDEN, 2000). Por fim, os autores sugerem que a suspensão do exercício não está diretamente associada com a falha de nenhum sistema fisiológico, visto que a maioria dos indicadores fisiológicos permaneceu estável, entretanto ocorre por uma integração do controle do sistema periférico especialmente para garantir a manutenção da homeostase do governador central.

Corroborando com os achados de Baron et al. (2008), Billat et al. (2004) avaliaram os efeitos de seis semanas de treinamento (2

sessões semanais) na velocidade da MLSS, demonstrando um aumento de 44 para 63 min do tempo de exaustão nessa intensidade. Já, em um interessante estudo que teve como objetivo verificar o tempo de exaustão na MLSS em diferentes modos de exercício (ciclismo x corrida), Fontana, Boutellier e Knöpfli-Lenzin (2009) encontraram tempos similares de $37,7 \pm 8,9$ min e $34,4 \pm 5,4$ min entre os dois modos de exercício. Entretanto, em termos absolutos, a FC e a VE foram menores no ciclismo que na corrida ($p < 0,01$), a [La] ($p < 0,01$) e os valores VO_2 ($p < 0,05$) foram maiores no ciclismo e a PSE foi similar entre os dois exercícios. Esses achados podem ser melhor explicados pelo fato de que a demanda cardiorrespiratória na MLSS é relativamente igual no ciclismo e na corrida e que assim as diferenças absolutas nas variáveis cardiorrespiratórias parecem não influenciar o TE (FONTANA; BOUTELLIER; KNÖPFLI-LENZIN, 2009).

A variação do TE na MLSS entre os estudos previamente citados pode estar associada ao nível de treinamento dos atletas pesquisados, visto que no estudo de Baron et al (2008) e Billat et al (2004) a amostra foi composta por atletas bem-treinados, enquanto Fontana, Boutellier e Knöpfli-Lenzin (2009) utilizaram sujeitos moderadamente treinados.

Sabe-se que o treinamento contínuo e intervalado na MLSS parece ser atraente para atletas de endurance, principalmente para a elaboração de treinamentos de alta intensidade e longa duração que objetivem obter melhoras na performance aeróbia, maximizando o rendimento (PHILP et al., 2008). Assim, considerando que a prescrição do treinamento para atletas de endurance também é realizado de forma intervalada também é importante verificar o TE nesse modelo de exercício. Entretanto, na literatura consultada, apenas um estudo verificou o tempo de exaustão nesse modelo. Grossl (2011) em um estudo com 15 mountain bikers moderadamente treinados comparou o tempo de exaustão no modo contínuo e intermitente (5:1) e encontrou $54,7 \pm 10,9$ e $67,8 \pm 14,3$ min, respectivamente.

Por fim, tendo em vista a importância de compreender as respostas metabólicas de um exercício até exaustão, observa-se que mais estudos são necessários para esclarecer melhor esses mecanismos.

2.3 Mecanismos de fadiga em eventos de longa duração

Os limites do desempenho e os mecanismos que levam a interrupção do exercício em eventos de longa duração tem sido um dos

temas mais estudados na última década. A fadiga é um fenômeno complexo que pode ser descrito como à incapacidade de manutenção de um determinado nível de força, causando uma redução no desempenho (FITTS, 1994), podendo levar a suspensão do exercício.

A fadiga pode ser subdividida em crônica, que está relacionada ao somatório de processos de recuperação insuficiente por um longo período de tempo, e aguda que se refere a incapacidade em realizar determinada atividade em uma única sessão de exercício (LIMA-SILVA; DE-OLIVEIRA; GEVAERD, 2006). Além disso, ainda pode ser dividida em central, associada ao funcionamento cerebral e periférica que está ligada às alterações relacionadas aos eventos que envolvem a contração muscular.

A geração de força ou movimento por meio de uma contração muscular voluntária envolve uma série de eventos que começam no cérebro e terminam no músculo (TAYLOR; TODD; GANDEVIA, 2006), assim uma forma de avaliar o processo da fadiga e os mecanismos associados é por meio da mensuração da força produzida por determinado grupo muscular.

Estudos sugerem que os principais mecanismos associados a ocorrência da fadiga tem relação direta com a intensidade do exercício. Dessa forma, a fadiga em exercícios de curta duração e esforços máximos tem sido atribuída à acidose metabólica (HERMANSEN; OSNES, 1972), enquanto a suspensão do exercício em atividades submáximas e de longa duração pode ser resultado da depleção do glicogênio muscular (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008).

Ainda não existe um consenso na literatura acerca dos mecanismos que estão relacionados com a suspensão do exercício em intensidades próximas a MLSS. Entretanto, sabe-se que um dos fatores limitantes para esses exercícios de endurance (abaixo ou na intensidade do OBLA) é a disponibilidade de glicose, sendo que essa concentração é mantida pela interação de vários hormônios (AMENT; VERKERKE, 2009).

Embora a maioria dos estudos, que buscam entender os mecanismos associados à fadiga, utilize medidas relacionadas com o sistema muscular e fisiológico, as respostas bioquímicas (enzimas e hormônios), que são reguladas pelo sistema nervoso central, também podem servir como indicadores de fadiga. Assim, sabendo da importância da compreensão desses mecanismos no exercício é fundamental que se compreenda as diferenças associadas ao modelo de

exercício contínuo e intervalado, visto que esses modelos são utilizados como métodos de treinamento.

Dessa forma, buscando uma melhor organização e compreensão desse tema o presente capítulo será subdividido em evidências da fadiga neuromuscular e respostas bioquímicas ao exercício.

2.3.1 Evidências da fadiga neuromuscular

Sabe-se que corridas prolongadas em intensidade submáxima, induzem a fadiga muscular, demonstrada por meio da redução da força (ou torque) máxima que o músculo pode exercer (PLACE et al, 2004). Dessa forma, a fadiga muscular pode ser definida como qualquer exercício que induza uma redução na força voluntária máxima (LEPERS et al, 2002).

Múltiplos processos no sistema nervoso e muscular contribuem para o aparecimento da fadiga muscular, sendo que uma forma de analisar os processos que contribuem para o aparecimento da fadiga é dividi-lo em central e periférico. A existência da fadiga periférica pode ser demonstrada por meio de uma redução da contração muscular ou da força de tetania produzida pela estimulação de nervos periféricos enquanto o músculo está em repouso (TAYLOR; GANDEVIA, 2008). Já, a fadiga central pode ser mensurada por um aumento da geração de força evocado por estimulação do nervo durante o esforço voluntário máximo, ou seja, por meio de uma sobreposição dos estímulos de contração muscular (TAYLOR; TODD; GANDEVIA, 2006).

Assim, a utilização da contração voluntária máxima (CVM) com eletro estimulação apresenta-se como uma maneira eficaz para estudar a fadiga, visto que testa de uma forma conjunta todo o caminho motor, além de gerar a fadiga em poucos segundos e ser uma forma eficiente de testar a fadiga central (TAYLOR; GANDEVIA, 2008). Associado à CVM é comum a utilização da eletromiografia (EMG) de superfície que permite fazer o registro simultâneo do potencial de ação do sarcolema de múltiplas fibras musculares (AMENT; VERKERKE, 2009). A amplitude do potencial de ação do sarcolema pode diminuir durante ativações prolongadas (exercícios longos), talvez em parte como resultado de mudanças nas concentrações de eletrólitos (sódio e potássio) na transmembrana (BALOG; THOMPSON; FITTS, 1994), servindo assim como mais uma ferramenta para analisar a atividade muscular.

Os mecanismos que estão associados com o declínio na capacidade de força dependem das características da tarefa executada, dentre elas: padrão da ativação muscular, tipo do grupo muscular envolvido, tipo de contração muscular e principalmente, intensidade e duração da tarefa executada (MARTIN et al, 2010). Além disso, o conhecimento atual acerca das origens da fadiga depois de um exercício de longa duração sugere que a suspensão do exercício pode estar relacionada com três componentes principais: transmissão do potencial de ação ao longo do sarcolema, o acoplamento contração-excitação do músculo e a interação actina – miosina (MARTIN et al., 2010).

Nessa perspectiva, por meio dessas técnicas de avaliação alguns estudos buscaram entender os mecanismos associados à ocorrência da fadiga em diferentes modos, intensidades, distâncias e duração de exercícios (LEPERS et al., 2000, LEPERS et al., 2002, MARTIN et al., 2010, MILLET et al., 2002, PLACE et al., 2004, SKOF; STROJNIK; KOMI 2006, ROSS, et al. 2010,).

Martin et al. (2010), em um estudo com 12 corredores de ultramaratona, avaliaram a participação da fadiga central e neuromuscular durante uma corrida de 24h realizada em uma esteira. Para tanto, os pesquisadores mediram a força da musculatura (CVM, ativação voluntária, estimulação elétrica) dos extensores do joelho, antes e a cada 4h de corrida. A velocidade média da corrida foi a $39 \pm 4\%$ do $VO_2\text{max}$. Os resultados mais significativos encontrados pelos autores foram à perda de força ($\sim 41\%$ na CVM) dos extensores do joelho durante toda corrida e a diminuição da máxima ativação voluntária (18,9%). A partir dos resultados encontrados pelos autores, sugere-se que os fatores centrais são os principais responsáveis pela grande redução de torque após uma corrida de 24h.

Em outro interessante estudo, Place et al (2004) analisaram alterações neuromusculares em 9 triatletas bem treinados durante uma corrida de 5h na esteira. A velocidade média da corrida foi de $10.5 \pm 0.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, que corresponde a 55% da velocidade máxima aeróbia encontrada no teste incremental e a distância percorrida foi de aproximadamente $52.5 \pm 2 \text{ km}$.

A máxima ativação voluntária (AV), a CVM e as contrações estimuladas eletricamente (*M-wave*) dos extensores do joelho foram analisadas antes e a cada hora de corrida. Neste estudo foi encontrada uma diminuição significativa da *M-wave*, AV (16%) e da CVM (28%) após 4h de exercício. Estes resultados sugerem que a função contrátil da musculatura não foi alterada durante todo exercício. Dessa forma, a

partir desses achados, os autores concluíram que as falhas na ativação central e na transmissão do potencial de ação muscular foram importantes mecanismos que contribuíram para o comprometimento neuromuscular durante a corrida.

Corroborando com esse achado, Ross et al (2010) e Millet et al (2002) também encontraram redução na CVM dos extensores do joelho (15% e 23,5%) e da AV (13%, 10,7%) após 20km e 30km de corrida, respectivamente. A partir dos achados desses estudos, os autores concluíram que a redução da CVM ocorreu em função de fatores centrais e periféricos.

Já, em outro estudo que buscou verificar a fadiga neuromuscular, Skof e Strojnik (2006) verificaram que após uma corrida de 6 km na intensidade do OBLA (20 minutos de duração), os únicos fatores responsáveis pela fadiga nesse evento foram os fatores periféricos.

Achados similares foram encontrados também no ciclismo (LEPERS et al., 2000, LEPERS et al., 2002) e no Skiing (MILLET; MARTIN; MAFIULETTI, 2003). Lepers et al. (2002) em um estudo com 9 ciclistas treinados encontraram que após 5 horas de exercício à 55% da potência aeróbia máxima, acarreta fadiga tanto a nível periférico quanto central. Entretanto, os autores verificaram que mudanças nos mecanismos periféricos como pico máximo de contração muscular, tempo de contração e a área de contração muscular foram observados já na primeira hora de exercício, enquanto as propriedades da M-wave (neural) foram alteradas exclusivamente na última hora do exercício.

Dessa forma, conclui-se que a presença da fadiga central parece não existir ou aparecem em menor amplitude no ciclismo em função de que exercícios no ciclismo envolvem principalmente contrações concêntricas e conseqüentemente induzem um dano muscular menor quando comparado a corrida (MILLET; LEPERS, 2004).

Lepers et al. (2000), também investigaram a fadiga por meio de fatores centrais (M-wave) e periféricos (contráteis) de 8 ciclistas bem treinados antes e após uma corrida de 2 horas a 65% da potência máxima aeróbia. Os autores encontraram uma diminuição similar no torque muscular em diferentes contrações: concêntricas, excêntricas e isométricas (11% a 15%). Além disso, a duração da M-wave aumentou, enquanto a amplitude máxima e a área total da contração diminuíram. A partir desses resultados, os autores concluíram que a diminuição da capacidade de gerar força dos músculos do quadríceps é resultado da diminuição da informação neural para os músculos e de mecanismos

periféricos como uma falha na excitação da membrana muscular e no acoplamento excitação-contração muscular.

Por fim, percebe-se que as diferenças encontradas nos estudos apresentados estão diretamente relacionadas com a duração e intensidade de exercício, ou seja, quanto mais longo o tempo de estímulo maiores evidências de fadiga central. Além disso, a fadiga neuromuscular é dependente da tarefa executada e do modo de exercício.

Na literatura consultada não foram encontrados estudos sobre fadiga neuromuscular em modelos de exercícios intermitentes de longa duração. Tendo em vista que um dos métodos de treinamento mais utilizado é o intervalado, assim como muitos eventos de endurance ocorrem com grandes variações de intensidade, parece interessante verificar o comportamento da fadiga nesse modelo de exercício.

2.3.2 Respostas bioquímicas ao exercício de longa duração

Sabe-se que o exercício físico atua como uma forma de stress para o sistema endócrino (HACKNEY, 2006). Entretanto, a resposta hormonal ao exercício é dependente de vários fatores como intensidade, duração, modo de exercício e nível de treinamento do sujeito (KARKOULIAS et al., 2008). Essas respostas interferem na homeostasia do organismo e levam o organismo a lançar mão de mecanismos a fim de interromper ou diminuir a intensidade do exercício, evento também conhecido como fadiga (MCCULLY et al, 1991).

Os mecanismos de controle homeostático mais complexo são os intracelulares, pois atuam para regular atividades como a degradação e a síntese protéica, a produção de energia e a manutenção de quantidades adequadas de nutrientes armazenados (SHERWOOD,1994), entre esses destaca-se a ação de determinados hormônios. Somado a isso, as enzimas também possuem um papel importante, pois participam do controle da velocidade das reações químicas celulares e conseqüentemente do controle das reações bioenergéticas.

Dessa forma, tendo em vista que a fadiga central está relacionada com as respostas que ocorrem nas funções cerebrais alguns hormônios podem servir como um indicativo de fadiga. Entretanto poucos são os estudos que buscaram verificar o comportamento dos hormônios e a sua relação com eventos de longa duração.

O cortisol, considerado o hormônio do stress, é o principal glicocorticóide nos humanos e é conhecido por seu papel importante no metabolismo (PERDERSON et al, 1997). É considerado um hormônio catabólico em função dos seus efeitos no metabolismo das proteínas e carboidratos (URHAUSEN; GABRIEL; KINDERMAN, 1995). Contribui para a manutenção da glicose durante o exercício por meio de mecanismos como a estimulação da mobilização de ácidos graxos livres e o bloqueio da entrada da glicose nos tecidos, forçando a utilização dos ácidos graxos como fonte energética (POWERS, 2005). Já, a testosterona é um esteróide anabólico por excelência, que participa de vários processos metabólicos, aumentando a síntese de proteínas (e da massa muscular) e a deposição de glicogênio nos músculos (FRANÇA et al.,2006).

França et al. (2006) em um estudo com 20 atletas investigaram a resposta dos níveis séricos de testosterona e cortisol após uma corrida de maratona. Para tanto, coletas de sangue venoso foram realizadas 48h antes, ao término da prova e 20h após o término da corrida. Os autores verificaram que ao final da prova, a testosterona estava significativamente menor (de 673 para 303 ng/dl) e o cortisol mais elevado (de 20,3 para 42,5 µg/dl) que no período controle. Já, na recuperação (20h após), ambos praticamente retornaram aos níveis basais.

Já em um estudo com 22 atletas de endurance bem treinados, Daly et al (2004) verificaram que após uma corrida (~85 min) até exaustão na intensidade do 2º limiar ventilatório tanto o cortisol (+103%) quanto o testosterona (+27%) estavam significativamente elevados na exaustão.

A partir dos achados desses estudos observa-se que embora em ambos os estudos o cortisol tenha aumento, a testosterona não apresentou o mesmo comportamento, visto que no primeiro estudo as suas concentrações diminuíram e no segundo aumentaram. Essa diferença pode estar associada a fatores como intensidade e duração do exercício, entretanto percebe-se que novos estudos são necessários para compreender as respostas desses hormônios ao exercício.

Além das respostas hormonais, exercícios de longa duração também causam danos a musculatura em função de repetidas e intensas contrações musculares (MOUGIOS, 2007). Assim, algumas enzimas como a creatina kinase (CK) e lactato desidrogenase (LDH) extravasam das fibras do músculo esquelético para o plasma servindo como indicadores dessas lesões. A CK têm sido relacionada principalmente

com lesões musculares decorrentes da fase excêntrica do exercício, podendo permanecer aumentada em até 7 dias após a realização de um esforço (BRANCACCIO et al, 2007).

O aumento da atividade do LDH depois do exercício está provavelmente relacionado com um aumento na permeabilidade da membrana celular em função do esgotamento da depleção de energia da célula e em função do dano muscular que ocorre após exercícios prolongados (HIKIDA et al,1981). Dessa forma, a CK e o LDH são extensivamente utilizados como marcadores de dano muscular.

A partir disso, Siqueira et al (2009), em um estudo que teve como objetivo verificar o comportamento de alguns indicadores bioquímicos e a sua relação com marcadores desempenho atlético, verificaram o comportamento da CK e LDH em 20 maratonistas profissionais antes e após uma prova de maratona. Os autores encontraram um aumento de 120% na concentração da CK e 50% no LDH ao final da corrida.

Corroborando com esse achado França et al. (2006) também encontraram uma elevação tanto na atividade da CK total ($183,2 \pm 47,6$ para $415,1 \pm 97,9$ $\mu\text{g/dl}$) como no LDH ($301,3 \pm 41,8$ para $452,8 \pm 65,9$) em 20 atletas após uma corrida de maratona. Entretanto, não foram encontrados estudos que correlacionassem alterações na atividade destas enzimas com desempenho esportivo, ou com o processo de fadiga.

Estes resultados permitem afirmar que são necessários futuros estudos para melhor compreender os mecanismos relacionados a fadiga e ainda verificar se existe uma relação constante entre esses indicadores bioquímicos e a suspensão do exercício. Além disso, verificar se esses indicadores bioquímicos apresentam algum padrão de comportamento, colaborando assim para o entendimento da fadiga.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Modelo do estudo

O presente estudo pode ser classificado quanto a sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada, pois possui como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigida para solucionar problemas específicos. Quanto à abordagem do problema, o estudo é considerado uma pesquisa quantitativa, visto que considera que os dados serão quantificados para serem classificados e analisados. Quanto aos objetivos propostos, a pesquisa caracteriza-se como sendo descritiva, pois se trata de uma pesquisa que tem como delineamento básico coletar

dados sobre duas ou mais variáveis nos mesmos sujeitos e explorar as associações existentes entre elas (THOMAS; NELSON, 2002). Já, em relação aos procedimentos técnicos a presente pesquisa classifica-se como empírica.

3.2 Sujeitos do estudo

A seleção dos participantes foi do tipo intencional não-probabilística, sendo composta por 11 corredores treinados, do sexo masculino. Todos os participantes têm no mínimo dois anos de experiência com o treinamento e competições de corrida de endurance.

3.3 Instrumentos de medida

3.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas

Foram realizadas medidas de massa corporal utilizando-se uma balança eletrônica marca Toledo® com precisão de 100g. A estatura foi determinada com um estadiômetro da marca Sanny® com precisão de 0,5cm. Para mensuração das dobras cutâneas foi utilizado um compasso científico da marca Cercorf®.

3.3.2 Obtenção das variáveis fisiológicas

Todos os testes de laboratório foram realizados na esteira (IMBRAMED, modelo ATL 10200). O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante o teste incremental e durante os dois testes para determinação do TE a partir do gás expirado (*Quark PFTergo*, COSMED, Rome, Italy). A calibração do analisador de gases foi realizada, antes de cada teste, de acordo com as recomendações do fabricante.

As amostras de sangue para análise das [La] foram coletadas do lóbulo da orelha por meio do capilar heparinizado e armazenadas em microtúbulos de polietileno com tampa (tipo *Eppendorf*), as análises foram realizadas pelo analisador eletroquímico (*YSI 2700 STAT*, Yellow Springs, Ohio, USA). O aparelho será calibrado antes da realização da leitura através do uso de uma solução padrão de concentração conhecida ($0,50 \text{ g.L}^{-1}$), como determina o fabricante (YSY Incorporate).

O monitoramento da frequência cardíaca (FC) foi realizado por meio de um cardiofrequencímetro incorporado ao analisador de gases, permitindo o registro e o armazenamento do comportamento da FC

sincronizadamente ao VO_2 . Os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram realizados durante os testes com um termômetro/higrômetro digital da marca Vacumed®.

3.3.3 Eletromiografia

Um sistema de eletromiografia Miotool (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda., Porto Alegre, Brasil) de quatro canais, com modo de rejeição comum com taxa de 126 dB e uma impedância de entrada de $10G\Omega$, foi utilizado para aquisição dos sinais eletromiográficos. Os sinais eletromiográficos (EMG) dos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) da articulação do joelho foram monitorados por pares de eletrodos de superfície Kendal (Meditrace- 100; Ag/AgCl; diâmetro de 20 mm, distância inter eletrodos de 22 mm), em configuração bipolar, com frequência de amostragem de 2000 Hz por canal. Os eletrodos foram alinhados longitudinalmente às fibras musculares e fixados sobre a pele recobrando o ventre mais proeminente dos músculos vasto lateral e reto femoral. Um eletrodo de referência foi posicionado na pele que recobre a face anterior da tíbia.

Anteriormente à colocação dos eletrodos, a impedância elétrica da pele foi reduzida por meio da raspagem dos pêlos com lâmina descartável e da limpeza da pele com álcool 70%, a fim de remover as células mortas e a oleosidade no local do posicionamento dos eletrodos. Em seguida, os eletrodos foram fixados na pele e uma leve pressão foi aplicada sobre eles para aumentar o contato entre o gel do eletrodo e a pele. Todos os procedimentos de preparação da pele e dos sujeitos seguiram as recomendações do *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles Project* (SENIAM).

3.3.4 Dinamometria

A capacidade de produção de força isométrica foi avaliada por meio de uma cadeira extensora modelo Max (TRG FITNESS, Brasil). Foi acoplada a cadeira extensora uma célula de carga com capacidade nominal de 200 kg (Miotec) conectada ao sistema Miotool. Todos os voluntários foram estimulados verbalmente durante as contrações voluntárias máximas (CVMs) e previamente instruídos a produzir força máxima.

3.3.5 Obtenção das variáveis bioquímicas

Para a mensuração das variáveis bioquímicas foram coletados 5ml de sangue da veia cubital do braço do sujeito. O sangue foi coletado em tubos de *Vacutainer* heparinizados e as frações (eritrócitos e plasma) foram separadas por centrifugação e estocadas em freezer para posterior análises.

A CK foi mensurada no plasma utilizando-se o kit enzimático CK-NAC (ref.117, Labtest®), para posterior leitura em espectrofotômetro em 340nm. Para determinação quantitativa do LDH foi utilizado o método UV. As concentrações de cortisol e testosterona foram determinadas por radio-imuno-ensaio (RIA) como descrito em Cadore et al, (2008).

3.3.6 Percepção de esforço

Para determinação da percepção de esforço ao longo do tempo de exaustão foi utilizado a escala de Borg de 15 pontos (BORG, 1982).

3.4 Coleta de dados

Os sujeitos foram instruídos a chegarem ao laboratório de esforço físico da UFSC em totais condições de recuperação, hidratação e alimentação, sendo que, além disso, foi recomendado para não realizarem treinamentos de alta intensidade e alto volume 48h antes dos testes. O protocolo experimental foi realizado dentro de um prazo de quatro semanas com todos os testes sendo realizados em um mesmo período do dia (± 2 h) para minimizar a interferência das variações biológicas.

Inicialmente foram realizadas as mensurações antropométricas e em seguida os sujeitos foram submetidos a um teste incremental (TI) para determinação dos índices fisiológicos máximos. Nos dias seguintes, foram realizadas 2 a 4 sessões de testes de carga constante com 30 min de duração para determinação da $MLSS_{con}$ e mais 2 a 4 sessões de testes de carga constante com 35 min de duração intervalada (figura 1) para determinação da $MLSS_{int}$. Para finalizar o protocolo experimental, foram realizados 2 testes de TE na $MLSS_{con}$ e na $MLSS_{int}$. Todos os testes foram realizados em situações climáticas similares ($T = 20^{\circ} - 22^{\circ}C$ e $URA = 60\%$) e com um intervalo de no mínimo 48h entre eles.

3.5 Procedimentos para coleta de dados

3.5.1 Avaliação antropométrica

As variáveis antropométricas mensuradas foram: massa corporal, estatura e percentual de gordura (%G). Para a determinação do %G, primeiramente foi quantificada a densidade corporal (DC) a partir da equação específica para atletas do sexo masculino proposta por Jackson e Pollock utilizando sete dobras cutâneas (peitoral, axilar, média, tríceps, subescapular, abdômen, supra-ilíaca e coxa). Em seguida, essa variável foi utilizada para estimar o %G por meio da equação de Siri.

3.5.2 Protocolo incremental na esteira

Para a determinação do $VO_2\text{max}$ foi utilizado um protocolo de cargas progressivas realizado em esteira rolante (IMBRAMED, modelo ATL 10200). A velocidade inicial foi de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e 1 % de inclinação com incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a cada 3 minutos até a exaustão voluntária. Entre cada estágio houve um intervalo de 30 segundos para coleta de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo (BILLAT et al., 2000). A $vVO_2\text{max}$ foi considerada como sendo a menor velocidade de exercício na qual ocorreu o $VO_2\text{max}$ (BILLAT et al., 1996; BILLAT et al., 1999).

A velocidade referente ao início de acúmulo de lactato na corrente sanguínea ($vOBLA$) foi determinada por intermédio do método proposto por Berg et al. (1990). O teste foi considerado máximo quando dois ou mais critérios a seguir foram encontrados: quociente respiratório (QR) maior que 1,10; platô de VO_2 ; 90% da $FC_{\text{máx}}$ predita pela idade (LAURSEN et al., 2002) e $[La]$ maior que $8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ao final do teste (BASSET; HOWLEY, 2000; SILVA; TORRES, 2002).

3.5.3 Protocolo contínuo para determinação da $MLSS_{\text{con}}$

Para a identificação da $MLSS_{\text{con}}$, foram realizados de 2 a 4 testes de carga constante, com duração de 30 min, sendo que a velocidade inicial foi referente ao $OBLA$, obtido previamente no TI. Antes do início de cada teste de $MLSS$ foi realizado um aquecimento de 10 min, sendo (5min - 50% PV, 5min - 60% PV).

As coletas para mensuração das $[La]$ foram realizadas no 10^o e 30^o min da avaliação. A identificação da $MLSS_{\text{con}}$ ocorrerá na

intensidade em que a concentração de lactato sanguíneo não varie mais que 1 mmol.L^{-1} nos últimos 20 minutos de teste (BENEKE,1995; JONES; DOUST, 1998; BENEKE et al., 2000; BENEKE et al., 2003).

Na situação em que houve um aumento na [La] inferior a 1 mmol.L^{-1} nos 20 min finais, outro teste de carga constante foi realizado, porém com o acréscimo de 0.5 km.h^{-1} da velocidade anterior, até a estabilidade ser identificada (BENEKE, 1995; JONES; DOUST, 1998). Já, quando ocorreu um aumento na [La] superior a 1 mmol.L^{-1} nos 20 min finais, foi realizado outro teste, porém com o decréscimo de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ da velocidade anterior, e assim sucessivamente, até identificação da vMLSS (JONES; DOUST, 1998).

3.5.4 Protocolo intermitente para determinação da MLSS_{int}

A identificação da MLSS_{int} foi similar ao protocolo contínuo, entretanto com duração total de 35 min, visto que teve intervalos de 1 min a cada 5 min de teste (figura 1). Antes do início da corrida na carga constante foi realizado um aquecimento de 10 min, sendo (5min - 50% PV, 5min - 60% PV). As coletas de sangue para mensuração das [La] foram realizadas no repouso e em todos os intervalos a partir do 11^o min (11^o, 17^o, 23^o, 29^o e 35^o min). A identificação da MLSS_[La] aconteceu na [La] na qual não houve uma variação maior que 1 mmol.L^{-1} nos últimos 20 min de teste (BENEKE,1995; JONES; DOUST, 1998; BENEKE et al., 2000; BENEKE et al., 2003).

O procedimento para adotar a velocidade do próximo teste, a fim de determinar a MLSS_{int}, seguiu o modelo adotado do teste contínuo.

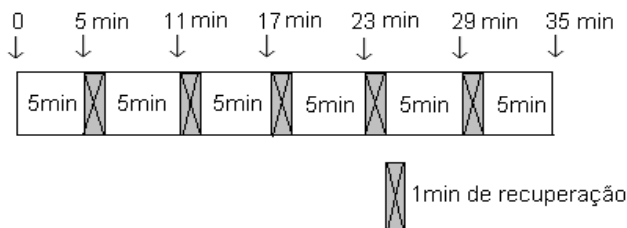


Figura 1 - Características do protocolo intermitente para determinação da MLSS_{int}

3.5.5 Protocolo para obtenção dos valores da eletromiografia

O programa Miograph 2.0 (Miotec) foi utilizado para a aquisição dos dados de força e eletromiografia (EMG). Os sinais foram armazenados em um computador para análise. Os valores de *root mean square* (RMS), referentes ao nível de ativação elétrica muscular foram obtidos a partir de recortes e segundo de duração (recorte correspondente a 2000 pontos) do platô do sinal de força da maior CVM, eliminando-se o início e o fim da contração. Os valores RMS absolutos foram normalizados pelo valor RMS correspondente a primeira avaliação. O programa Matlab[®] versão 7.5 (Mathworks Inc., Novi, MI, EUA) foi utilizado para o processamento dos sinais de força e EMG.

3.5.6 Protocolo para a determinação da força isométrica

Para determinação do torque máximo, foram solicitadas três contrações isométricas voluntárias máximas (CVMs), antes e logo após o TE, dos músculos extensores do joelho, no ângulo de 60° de extensão (0° = extensão completa do joelho), por um período de cinco segundos cada e com intervalo de 120 segundos. O maior valor de torque obtido entre as três contrações foi considerado a CVM utilizada nas análises. Para determinação do ângulo da articulação do joelho foi utilizado um goniômetro da marca Carci[®].

3.5.7 Protocolo contínuo para determinação do TE na MLSScon

Nessa avaliação os atletas realizaram um teste até a exaustão voluntária na MLSSv anteriormente determinada em protocolo contínuo. Antes do início da corrida na carga constante foi realizado um aquecimento de 10 min, sendo (5min - 50% PV, 5min - 60% PV). A coleta de sangue para mensuração do lactato sanguíneo aconteceu no 30° min, conforme ocorre na determinação da MLSS, e ao final do teste (exaustão). O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante todo o teste.

3.5.8 Protocolo intermitente para determinação do TE na MLSSint

Para determinação do tempo de exaustão em protocolo intermitente, os atletas realizaram um teste até a exaustão na MLSSv

anteriormente encontrada em protocolo intermitente. Antes do início da corrida na carga constante foi realizado um aquecimento de 10 min, sendo 5min - 50% PV, 5min - 60% PV. Este protocolo teve interrupções de 1 min (passiva) a cada 5 min até a exaustão. A coleta de sangue para mensuração do lactato sanguíneo ocorreu a partir do 11º min em cada intervalo, até o final do teste. Os tempos das pausas não foram contados no TE. O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante todo o teste.

3.5.9 Determinação da frequência cardíaca e do VO_2

Durante os testes laboratoriais a FC foi monitorada pelo frequencímetro incorporado ao analisador de gases COSMED (modelo QUARK PFT ERGO), permitindo o registro e o armazenamento a cada batimento. O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante as avaliações 1,6 e 7 a partir do gás expirado, sendo que os dados foram reduzidos a médias de 15s e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi considerado como o maior valor obtido durante o teste nestes intervalos de 15 s.

3.5.10 Protocolo da coleta de sangue para determinar as [La]

Para a mensuração das [La], foram coletados 25µl de sangue arterializado do lóbulo da orelha em capilar heparinizado, em todas as avaliações. O sangue foi imediatamente transferido para microtubos de polietileno com tampa tipo Eppendorff de 1,5ml, contendo 50µl de NaF 1% e foi armazenado na temperatura adequada.

3.5.11 Protocolo para análise das variáveis Bioquímicas

Para a dosagem das variáveis bioquímicas: cortisol, testosterona, LDH e CK foram coletados 5 ml de sangue antes e depois do TE. O sangue foi mantido em temperatura ambiente por 20 minutos e depois foi centrifugado por 15 min a 3000rpm para separação do plasma e células sanguíneas e foi analisado imediatamente ou armazenado a 20°C para posterior análise.

3.5.10 Protocolo da coleta da percepção de esforço

Para determinação da percepção de esforço durante o TE no protocolo contínuo e intervalado, a cada ~4 min de exercício era solicitado ao atleta que apontasse na escala de Borg a sua percepção de esforço naquele momento.

3.6 Tratamento estatístico

Para apresentação dos dados foi utilizada a estatística descritiva (média e desvio padrão). Inicialmente foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade dos dados e em seguida foi aplicado o teste t pareado para comparar os índices fisiológicos na MLSS e TE em protocolo contínuo e intermitente. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas foi utilizada para comparar as mudanças das variáveis fisiológicas ao longo do TE e entre os exercícios realizados de forma contínua e intermitente. Quando necessário, comparações múltiplas foram realizadas utilizando o *post-hoc* de Bonferroni. A magnitude das diferenças foram analisadas pelo Effect Size (ES) e a escala de Cohen (1988) foi usada para interpretação dos resultados. Para verificar o comportamento das respostas neuromusculares e bioquímicas pré e pós exercício foi utilizado o teste t pareado. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%. Para a realização do tratamento estatístico foi utilizado o aplicativo GraphPad Prism para windows, versão 5.0.

4. RESULTADOS

Onze corredores bem treinados ($32,7 \pm 6,9$ anos; $75,3 \pm 5,3$ kg; $176,8 \pm 5,7$ cm; $11,6 \pm 4,0$ de %G), com pelo menos três anos de experiência em eventos de corrida, participaram do presente estudo. A tabela 1 apresenta os valores máximos de velocidade, FC, VO_2 , VE, e [La] obtidos no teste incremental.

Tabela 1 - Média \pm DP das variáveis fisiológicas obtidas durante o teste incremental máximo

Variáveis	Valores
PV (km.h ⁻¹)	$17,7 \pm 0,9$
FCmax (bpm)	$186 \pm 5,1$
VO_2 max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	$61,5 \pm 3,7$
VO_2 max (ml.min ⁻¹)	4620 ± 378
VEmax (L.min ⁻¹)	$155,9 \pm 18,0$
[La]pico (mmol.L ⁻¹)	$10,9 \pm 1,8$

Nota: PV= pico de velocidade; FCmax= frequência cardíaca máxima; VO_2 max= consumo máximo de oxigênio; VEmax= ventilação máxima; [La]pico= maior concentração de lactato.

A velocidade correspondente a MLSS do modelo intervalado foi ~5% maior que a MLSS_{con}. Esta diferença encontrada é considerada grande analisando-a por meio do *effect size*. Por outro lado o tempo de exaustão no modelo contínuo foi 20% maior que no intermitente ($p < 0,05$), apresentando um *effect size* classificado como moderado. Consequentemente o modelo contínuo possibilitou uma distancia percorrida de quase 3 km superior ao modelo intervalado da MLSS (tabela 2).

Tabela 2 – Média ± DP da velocidade e das variáveis fisiológicas no exercício contínuo e intervalado

Variáveis	Contínuo	Intervalado	p	ES
Velocidade (km.h ⁻¹)	14,5 ± 0,9*	15,3 ± 0,9	0,0001	1,0
TE (min)	67,9 ± 11,3*	57,8 ± 15,8	0,0157	0,8
Distância (km)	16,3 ± 2,7*	13,6 ± 3,4	0,0140	0,9
[La] _{MLSS} (mmol·L ⁻¹)	3,8 ± 1,0*	4,9 ± 1,7	0,0363	0,8

Nota: TE= tempo de exaustão; [La]_{MLSS}= concentração de lactato no protocolo de máxima fase estável; ES= effect size.

* $p < 0,05$ comparado ao modelo intervalado

A tabela 3 apresenta a resposta dos parâmetros cardiorrespiratórios ($t_{10\%}$, $t_{20\%}$, $t_{40\%}$, $t_{60\%}$, $t_{80\%}$ e $t_{100\%}$) durante o tempo de exaustão na MLSS no modelo contínuo e intervalado. Todos os valores médios (exceto VO_2 e R) registrados durante o teste foram significativamente maiores que aqueles mensurados no inicio do teste ($t_{10\%}$).

Tabela 3 - Comportamento dos parâmetros cardiorrespiratórios durante o tempo de exaustão na MLSS

Tempo de exaustão contínuo						
Variável	T_{10%}	T_{20%}	T_{40%}	T_{60%}	T_{80%}	T_{100%}
Distância (km)	1,6 ± 0,2	3,2 ± 0,5	6,5 ± 1,0	9,7 ± 1,6	13,0 ± 2,1	16,3 ± 2,7
VO ₂ (mL.kg ⁻¹ min ⁻¹)	51,3 ± 3,7	51,3 ± 4,8	51,8 ± 4,2	51,8 ± 4,3	52,2 ± 4,7	52,1 ± 3,9
VE (L·min ⁻¹)	106,3 ± 25,8	106,4 ± 11,9	111,7 ± 12,0	112,9 ± 12,1	118,2 ± 15,1 ^b	125,8 ± 17,6 ^a
FC (bpm)	159 ± 10	163 ± 9	168 ± 8	171 ± 8	174 ± 9 ^d	177 ± 10 ^c
R	0,91 ± 0,0	0,93 ± 0,0	0,94 ± 0,0	0,93 ± 0,0	0,93 ± 0,0	0,95 ± 0,0
PSE	2,6 ± 1,0	3,4 ± 1,0	4,5 ± 0,8	6,0 ± 1,0 ^g	8,0 ± 1,0 ^f	10,5 ± 0,5 ^e

Nota: VO₂= consumo de oxigênio; VE= ventilação; FC = frequência cardíaca; R = coeficiente respiratório, PSE = percepção subjetiva de esforço.

^a p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^b p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}; ^c p< 0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^d p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ^e p< 0,05 em relação a todos os percentuais; ^f p< 0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^g p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ^h p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ⁱ p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}.

Tempo de exaustão intervalado

Variável	T _{10%}	T _{20%}	T _{40%}	T _{60%}	T _{80%}	T _{100%}
Distância (km)	1,4 ± 0,3	2,7 ± 0,7	5,5 ± 1,3	8,2 ± 2,0	10,9 ± 2,7	13,6 ± 3,4
Nº de repetições	1,2 ± 0,3	2,3 ± 0,6	4,6 ± 1,1	6,9 ± 1,7	9,2 ± 2,3	11,5 ± 2,9
VO ₂ (mL.kg ⁻¹ min ⁻¹)	52,1 ± 5,5	52,9 ± 6,0	53,5 ± 5,4	53,2 ± 4,7	53,4 ± 4,9	53,4 ± 5,3
VE (L·min ⁻¹)	109,6 ± 13,5	113,9 ± 15,2	119,0 ± 15,1	122,3 ± 15,6	125,7 ± 17,1 ^b	129,9 ± 18,2 ^h
FC (bpm)	161 ± 8,5	166 ± 8,7	169 ± 7,9	172 ± 8,0 ⁱ	175 ± 8,1 ^d	177 ± 9,2 ^c
R	0,91 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,93 ± 0,0
PSE	3,2 ± 1,3	3,6 ± 1,5	4,5 ± 1,5	6,3 ± 1,4 ^g	7,8 ± 1,2 ^f	10,2 ± 0,7 ^e

Nota: VO₂= consumo de oxigênio; VE= ventilação; FC = frequência cardíaca; R = coeficiente respiratório, PSE = percepção subjetiva de esforço.

^a p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^b p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}; ^c p< 0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^d p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ^e p< 0,05 em relação a todos os percentuais; ^f p< 0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%} e t_{60%}; ^g p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ^h p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}, t_{40%}; ⁱ p<0,05 em relação a t_{10%}, t_{20%}.

Além disso, os parâmetros cardiorrespiratórios (VO_2 , VE) e a distância percorrida durante o tempo de exaustão contínuo e intervalado estão apresentados na figura 1. O VO_2 e a VE não apresentaram diferença significativa entre os modelos de exercício. Já, para a distância percebe-se diferença significativa no tempo referente a 80% e 100%.

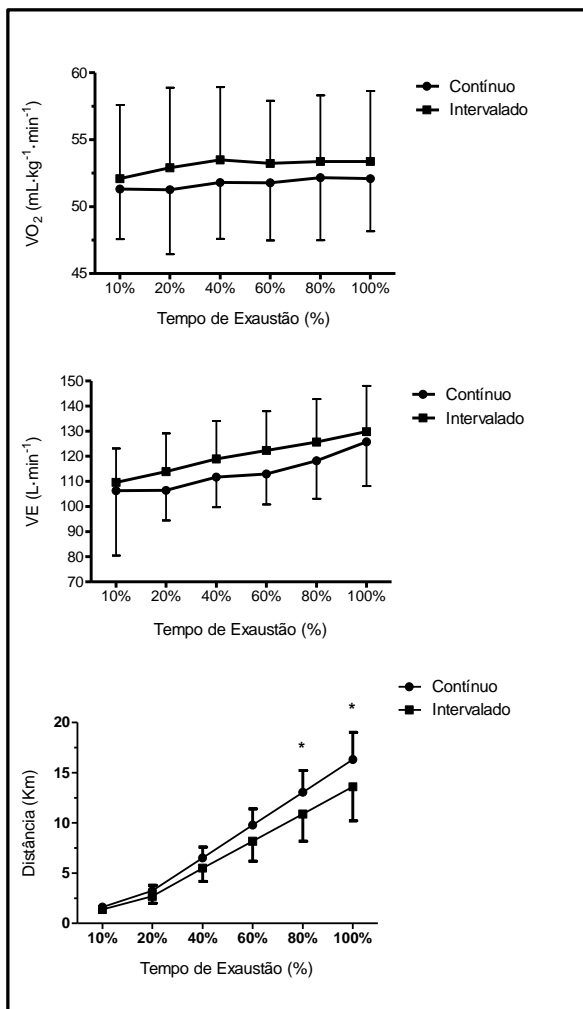


Figura 2 - Diferenças no VO_2 , VE e distância percorrida entre TE_{con} e TE_{int}
* $p < 0,05$ comparado ao protocolo intervalado

A média dos valores encontrados para as [La] mostram que a estabilidade do lactato foi mantida no tempo de exaustão. No TE contínuo a [La] no min 30 foi de $3,36 \pm 1,05$ mM e na exaustão foi de $4,23 \pm 1,11$, resultando em um delta de $0,87 \pm 0,50$. Já no modelo intervalado a média da [La] no min 30 foi de $4,62 \pm 1,54$ mM, na exaustão foi $5,01 \pm 1,84$, resultando em um dela de $0,39 \pm 0,71$. A tabela 4 apresenta os valores dos atletas avaliados.

Tabela 4 – Comportamento individual e médio das [La] durante o TE

Tempo de exaustão contínuo			
Repouso	[La] 30	Exaustão	DELTA
1,69	2,56	3,42	0,86
1,28	2,63	3,99	1,36
1,43	2,55	2,92	0,37
1,33	3,06	3,48	0,42
1,10	3,33	3,78	0,45
1,67	4,50	4,90	0,40
1,30	6,00	6,90	0,90
0,82	2,40	3,51	1,10
0,86	3,36	3,87	0,51
0,73	3,21	4,68	1,47
1,75	3,33	5,08	1,75
MÉDIA	3,36	4,23	0,87
DP	1,05	1,08	0,49

Tempo de exaustão intervalado			
Repouso	[La] 30	Exaustão	DELTA
1,56	7,70	7,44	-0,26
1,20	3,30	3,12	-0,18
0,95	3,93	3,57	-0,36
1,03	3,24	3,41	0,17
1,89	6,07	7,05	0,97
1,52	4,23	5,22	0,99
3,00	6,48	7,89	1,41
0,98	3,55	3,33	-0,22
1,05	4,81	4,61	-0,20
1,17	4,70	6,12	1,42
1,38	2,85	3,30	0,44
MÉDIA	4,62	5,01	0,38
DP	1,54	1,84	0,70

Nota: [lac]30 = concentração de lactato mensurada no minuto 30, exaustão= concentração de lactato logo após a exaustão, DELTA = diferença entre a concentração de lactato na exaustão e no min 30.

A figura 2 apresenta as respostas neuromusculares mensuradas antes e depois do teste de TE contínuo e intervalado. A perda de força foi significativa para ambos os modelos de exercício, sendo que no modelo contínuo o percentual de diminuição da força foi de 14,80 % (pré= 230,31 ± 42,02 N, pós = 199,68 ± 53,93 N), enquanto no intervalado foi de 13,14% (pré= 225,05 ± 48,65 N, pós = 193,98 ± 37,62 N). Por meio do sinal eletromiográfico, pode-se observar uma redução na ativação (RMS) do músculo vasto lateral após o TE em ambos modelos de exercício. Além disso, é importante ressaltar que entre os modelos de exercício (contínuo e intervalado) não houve diferença no pré exercício.

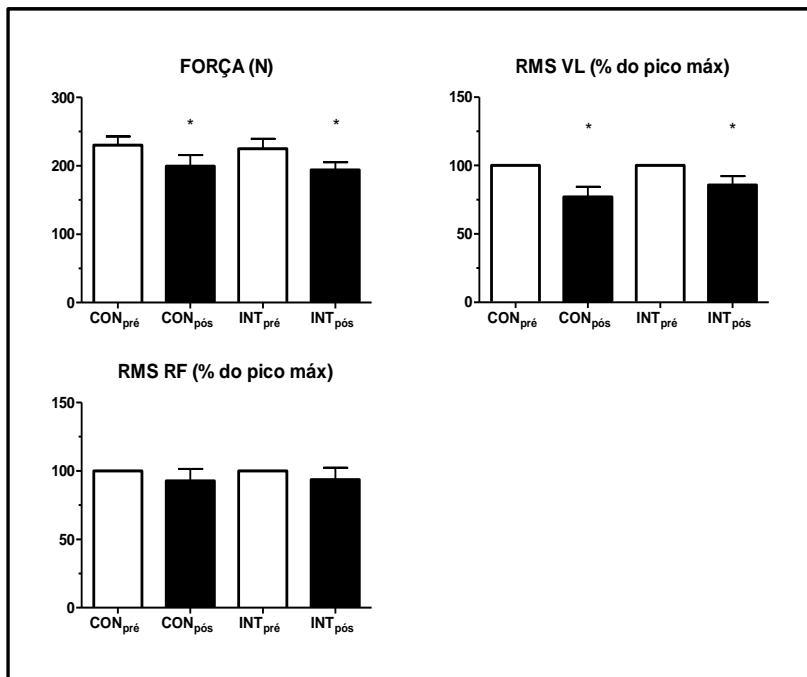


Figura 3 - Contração voluntária máxima (CVM) e *root mean square* (RMS) do Vasto lateral e reto femoral mensuradas pré e pós tempo de exaustão no modelo contínuo e intervalado.

* $p < 0,05$ em relação ao pré exercício.

A figura 4 apresenta as respostas bioquímicas pré e pós TE em ambos modelos de exercício. Ao analisar o gráfico, percebe-se que todas as variáveis bioquímicas analisadas apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pré e pós exercício tanto no modelo contínuo quanto no intervalado. O cortisol foi o hormônio que apresentou diferença de maior magnitude, resultando em um aumento de 133% no modelo contínuo (pré= $13,20 \pm 4,9 \mu\text{g/dl}$; pós = $28,15 \pm 6,19 \mu\text{g/dl}$) e de 126% no intervalado (pré= $13,57 \pm 5,66 \mu\text{g/dl}$; pós = $29,18 \pm 7,38 \mu\text{g/dl}$). A testosterona apresentou um aumento de 25% (pré= $372,92 \pm 123,68 \mu\text{g/dl}$; pós = $459,36 \pm 184,31 \mu\text{g/dl}$) no modelo contínuo e 31% (pré= $370,12 \pm 140,90 \mu\text{g/dl}$; pós = $453,00 \pm 149,31 \mu\text{g/dl}$) no intervalado. Já em relação as enzimas musculares analisadas no plasma, a CK apresentou um aumento de 65% (pré= $240,73 \pm 94,39 \text{ mg/dl}$; pós = $389,36 \pm 150,20 \text{ mg/dl}$) e o LDH de 39% (pré= $254,50 \pm 73,32 \text{ mg/dl}$;

pós = $363,50 \pm 159,45$ mg/dl) no modelo contínuo, enquanto no intervalado esse aumento foi de 46% (pré= $339,27 \pm 226,09$ mg/dl; pós = $456,91 \pm 242,60$ mg/dl) e 25% (pré= $308,20 \pm 148,52$ mg/dl; pós = $363,50 \pm 157,27$ mg/dl), respectivamente.

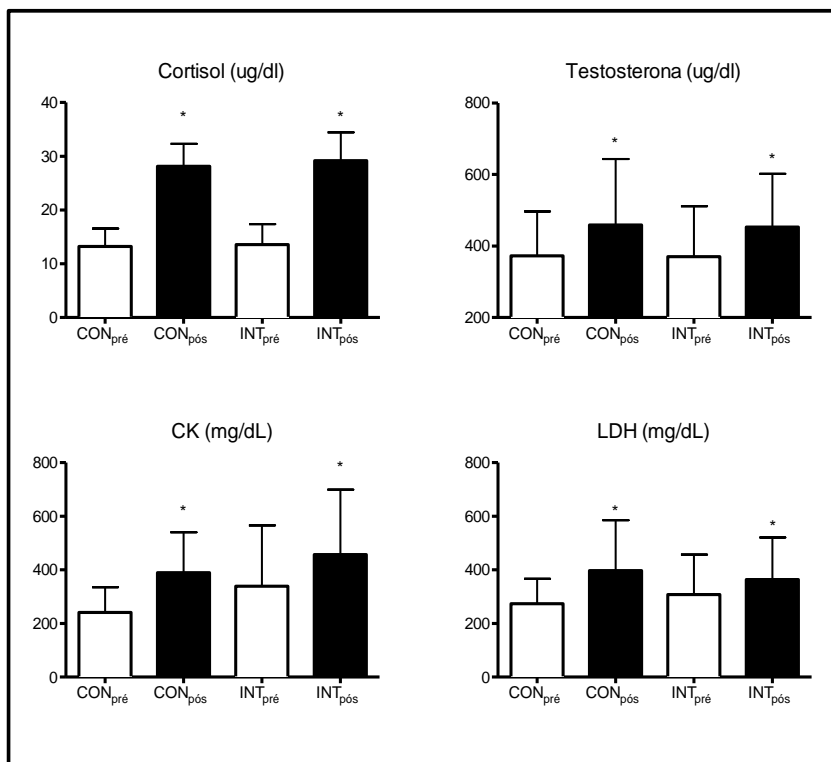


Figura 4 - Respostas hormonais e bioquímicas mensuradas pré e pós tempo de exaustão no modelo contínuo e intervalado.

* $p < 0,05$ em relação ao pré exercício.

5. DISCUSSÃO

O principal achado do presente estudo foi o maior tempo de exaustão encontrado na $MLSS_{con}$ comparado a $MLSS_{int}$ (67 ± 11 e 57 ± 15 min, $p < 0,05$). A partir dos resultados encontrados, observa-se que mesmo que as velocidades relativas encontradas para a $MLSS$

apresentaram uma diferença significativa de aproximadamente 5% ($14,53 \pm 0,93$ e $15,26 \pm 0,97$ km.h⁻¹, $p < 0,001$), as respostas neuromusculares e bioquímicas apresentaram o mesmo comportamento no tempo de exaustão.

As freqüentes pausas, durante o exercício intervalado, permitem que ocorra uma recuperação parcial em relação ao estímulo anterior, reduzindo assim o estresse metabólico comparado a um exercício contínuo realizado na mesma intensidade. Nessa perspectiva, Beneke et al. (2003) propuseram a identificação da MLSS de forma intermitente. Os autores encontraram que, durante o protocolo intervalado com recuperação passiva (30s ou 90s de pausa a cada 5min de exercício) as intensidades da MLSS foram entre 8% e 10% maiores (300 W e 310 W, respectivamente) do que quando determinadas no modelo contínuo de 30 min (277 W). Além desse, outros estudos também encontraram que a $MLSS_{int}$ é uma intensidade de 3% a 4% maior que a $MLSS_{con}$ na natação (DEKERLE et al., 2002, GRECO et al., 2010) e de 6% na corrida (DE LUCAS et al., 2012). É importante enfatizar que as diferenças entre os estudos estão possivelmente associadas ao modo de exercício e as diferenças na relação esforço:pausa. Tendo em vista a importância da determinação da MLSS para a prescrição do treinamento de atletas de *endurance* (PHILP et al., 2008), estes resultados demonstram que quando a MLSS não for determinada de forma intervalada, ajustes devem ser realizados para a prescrição das sessões de treinos intervalados, visto que essa intensidade encontra-se acima da $MLSS_{con}$.

A MLSS representa a maior concentração de lactato em que existe equilíbrio entre a produção e remoção do lactato durante exercícios longos em intensidades constantes. Assim, este índice fisiológico, parece indicar uma intensidade de exercício acima da qual a taxa de glicólise excede a utilização do piruvato mitocondrial causando assim o contínuo acúmulo de lactato no sangue (BENEKE; DULIVARD, 1996). A MLSS obtida no presente estudo no protocolo contínuo ($3,90 \pm 1,21$ mM) foi similar a encontrada por Billat et al. (2004). Em relação ao modelo intervalado, as [La] foram maiores ($4,63 \pm 1,78$ mM) que a do contínuo em função da intensidade mais levada e estão de acordo com os achados de Beneke et al. (2003). Já, em relação ao delta encontrado no TE_{con} ($0,87 \pm 0,50$ mM) e no TE_{int} ($0,39 \pm 0,71$ mM), verifica-se que mesmo em uma intensidade maior e com maiores concentrações o delta no modelo intervalado tende a ser menor que no contínuo. Esse achado pode ser explicado pelo fato de que durante os períodos de pausa (1 min), a taxa glicolítica do músculo anteriormente

trabalhado ser reduzida, enquanto o consumo de oxigênio de todo o organismo ainda está elevado, como resultado do aumento do consumo de oxigênio pós-exercício (Beneke et al. 2003), levando assim a uma redução nas [La].

A hipótese do presente estudo foi que o TE na $MLSS_{int}$ seria superior a $MLSS_{con}$ em função de achados anteriores (GROSSL, 2011) e dos períodos de recuperação (1 min) a cada 5min de exercício. Entretanto, os resultados demonstraram um comportamento oposto ao hipotetizado. Os mecanismos que podem explicar essa diferença entre TE contínuo e intervalado ainda não estão claros. Entretanto, pelo fato da $MLSS_{int}$ estar em uma intensidade maior que a $MLSS_{con}$, o exercício pode gerar uma maior demanda metabólica e conseqüentemente uma maior depleção de substrato (VOLLESTAND, BLOM, 1985), maior liberação de hormônios de estresse, maior acidose metabólica (FREUND et al., 1989), além de gerar maior fadiga neuromuscular em função do maior número de unidades motoras recrutadas (COYLE, 2000). Isso parece ser confirmado pelo fato das respostas bioquímicas e neuromusculares terem sido alteradas na mesma magnitude (figura 3 e figura 4), embora o TE tenha sido inferior no intervalado (-20%).

O TE associado a $MLSS$ têm sido alvo de estudos, somente na última década. Dessa forma, o tempo de exaustão na $MLSS_{con}$ (67 ± 11 min), encontrado no presente estudo está de acordo com outros achados na literatura (BILLAT et al., 2004, BARON et al., 2008, LEGAZ-ARRESE et al., 2011) que encontraram tempos de sustentação na $MLSS_{con}$ semelhantes (63 ± 12 min, $55 \pm 8,5$ min, 64 ± 15 min, respectivamente). O único estudo que encontrou resultados inferiores foi o de Fontana et al. (2009) que ao compararem o TE entre dois modos de exercício (ciclismo e corrida) encontraram valores similares entre o ciclismo ($37,7 \pm 8,9$ min) e corrida ($34,4 \pm 5,4$ min), sendo que as diferenças encontradas entre os estudos deve estar associada ao nível de treinamento dos atletas, ao modo de exercício, protocolo utilizado e pelas diferentes intensidades de exercício encontradas para $MLSS$.

Estudos sugerem que a $MLSS$ encontra-se em uma intensidade entre 60% e 85% do VO_2max (BENEKE; LEITHAUSER; OCHENTEL, 2011, SJODIN; SVEDENHAG, 1985). No presente estudo a $vMLSS$ correspondeu a uma intensidade média de 84% do VO_2max , enquanto no modelo intermitente foi de 87%. Corroborando com esse achado, Billat et al (2004) encontraram uma $vMLSS$ correspondente a 85% do VO_2max com TE de 55 min. Já no estudo de Baron et al. (2008) os autores encontraram a $MLSS$ em uma intensidade menor (71% do

VO₂max) que a do presente estudo, entretanto é importante ressaltar que o estudo foi realizado com ciclistas. Contrário a esses estudos que apresentaram TE próximos, Fontana et al. (2009) encontram a intensidade da MLSS de 89% e 85% do VO₂max na corrida e no ciclismo, respectivamente, sendo que essas altas intensidades podem explicar os valores mais baixos de TE encontrado por esses autores (inferior a 40min).

Já, o tempo de exaustão na MLSS no modelo intervalado encontrado no presente estudo foi em torno de 20% inferior comparado ao tempo na MLSS_{con}. Embora pareça estar claro que no modelo intervalado a MLSS encontra-se em uma intensidade maior em função dos períodos de recuperação, o tempo de exaustão nesse modelo ainda não foi muito investigado. Na literatura consultada, encontramos apenas um estudo (GROSSL, 2011) que verificou a exaustão nesse modelo de exercício. Grossl (2011) em um interessante estudo com 15 atletas encontrou que o tempo exaustão no ciclismo foi de 67 ± 14 min com a mesma relação esforço-pausa do presente estudo (5:1).

Sabe-se que o maior envolvimento da maior massa muscular, a posição mais ereta e também a movimentação maior do tronco e membro superiores, como ocorre na corrida, induzem um maior gasto energético comparado a outras modalidades terrestres (BERGH et al., 1991). Assim, as diferenças associadas ao modo de exercício (ciclismo x corrida) parecem ajudar a explicar diferenças no tempo de sustentação na MLSS.

Ao analisar o comportamento do VO₂ durante o TE, outros aspectos fisiológicos podem ser contrastados. Baron et al. (2008) constataram que os valores médios do VO₂ no TTE não aumentaram significativamente entre o início ($t_{10\%}$) e o final ($t_{100\%}$) ($2,73 \pm 0,55$ vs. $2,89 \pm 0,34$ L·min⁻¹). Nossos resultados concordam com esta observação tanto no protocolo contínuo quanto no intermitente (tabela 3). Dessa forma, observa-se que o componente lento na MLSS parece não ocorrer, e por isso não ajudaria explicar a diferença entre o TE contínuo e intermitente.

Em relação à FC observa-se que durante o TE há um aumento similar nesses valores entre o $t_{10\%}$ e o $t_{100\%}$ nos dois modelos de exercício (tabela 3). Esse aumento pode ser explicado pelo aumento da atividade do sistema nervoso simpático e pelo aumento da concentração de noraepinefrina circulante, como demonstrado por Baron et al. (2003), mas também pela hipertermia e conseqüentemente aos mecanismos associados à manutenção do débito cardíaco e dissipação do calor

(BARON et al. 2008). A elevação da FC também pode parcialmente refletir um aumento do comando central após a diminuição da eficiência muscular associada à fadiga (WOLEDGE 1998). Da mesma forma, o coeficiente não foi alterado significativamente ao longo do tempo e o comportamento em ambos os protocolos foi similar, ou seja, não foi encontrada diferença significativa entre a $MLSS_{con}$ e a $MLSS_{int}$.

Em relação à PSE, nossos resultados mostram que a PSE é sensível a intensidade e duração do exercício em ambos modelos, estando de acordo com outros estudos que analisaram a PSE em exercícios de carga constante (BARON et al., 2008, OKUNO et al., 2011, LEGAZ-ARRESE et al., 2011). Os achados também estão de acordo com o estudo de Crewe et al. (2008) que relatam que o aumento da PSE é uma função linear da duração do exercício. Esses resultados indicam que o cérebro, em resposta ao feedback aferente de múltiplos sistemas do corpo, percebe que o exercício está se tornando progressivamente mais exigente, mesmo que o ritmo se mantenha constante (NOAKES; GIBSON; LAMBERT, 2005).

Os resultados do presente estudo são importantes para que se compreendam as respostas cardiorrespiratórias, bioquímicas e neuromusculares que ocorrem nessa importante intensidade de exercício (MLSS) no modelo contínuo e intervalado, para que desta forma possam servir de referência para a prescrição de sessões de treinamento. Os índices provenientes da resposta de lactato sanguíneo (OBLA, MLSS) são altamente correlacionadas com a *performance* de eventos de longa duração, como provas de 10 km e maratonas (ALLEN, et al. 1985, BILLAT et al. 2003). Assim, essa intensidade de exercício é frequentemente indicada para a prescrição de treinamento aeróbio, principalmente para atletas de endurance (BENEKE, 1995; BENEKE, 2003; BENEKE et al., 2001; JONES; DOUST, 1998; PHILP et al., 2008).

Billat et al. (2004) e Philp et al. (2008) demonstraram que a utilização da velocidade referente a MLSS como intensidade do treinamento provocam adaptações e melhoras nas respostas fisiológicas referentes a VO_2 , MLSS e TE. No estudo de Billat et al. (2004), os atletas treinavam em média 5 vezes por semana, sendo que as 2 sessões mais curtas desses treinos foram substituídas pelo modelo de treinamento proposto pelos autores. Este modelo foi constituído por 12 sessões (6 semanas), sendo que o volume aumentava a cada semana passando de 2,5 km na primeira sessão para 7,5 km na última sessão. Os treinos foram divididos em séries (2 e 3) com intervalos de 5 min de

recuperação a 70% da vMLSS, com duração total de 30 min na primeira sessão e 60 min na última. Já, no estudo conduzido por Philp et al. (2008) os atletas foram divididos em 2 grupos de treinamento, sendo que um grupo realizava seus treinos de forma contínua e o outro intervalada. A frequência de treinos era de 2 vezes por semana para ambos os grupos, durante 8 semanas, sendo que o volume total de cada passou de 21 min na primeira sessão para 33 na última. Entretanto, o treinamento intervalado foi dividido em séries com repetições de 3 min sendo que a intensidade dos estímulos foi de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ acima da MLSS e $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ abaixo da MLSS. Os autores encontraram uma melhora na velocidade da MLSS de 8% no modelo contínuo e 5% no modelo intermitente. Entretanto, é importante ressaltar que no modelo intervalado os atletas intercalavam estímulos acima e abaixo da MLSS e que não correspondiam a MLSS intervalada, visto que a mesma não foi determinada. É importante ressaltar que o modelo de treinamento utilizado em ambos os estudos acima citados, servem apenas como uma referência quanto à aplicação de cargas nesta intensidade. Entretanto, inúmeras possibilidades de composição de treinamento intervalado (numero de repetições, duração do esforço, relação esforço pausa) podem ser utilizadas dependendo do nível do atleta, assim como do período em que este se encontra no processo de uma periodização.

Desta forma, o método intervalado tem sido frequentemente utilizado e aceito como uma forma de aumentar a sobrecarga do treinamento (PHILP et al., 2008; SEILER, HETLELID, 2005), visto que durante o exercício intervalado é possível realizar maior volume de exercício em alta intensidade (\geq a MLSS) também em função da restauração da creatina fosfato (CP) e maior remoção do lactato, que ocorrem durante a recuperação (DUPONT et al., 2008), retardando, deste modo, o surgimento da fadiga. Entretanto, ainda não está bem descrito na literatura as respostas na MLSS no modelo intermitente.

Os resultados encontrados na intensidade da $MLSS_{int}$ mostram que, mesmo que não exista diferença estatística sobre as respostas fisiológicas, o estresse metabólico causado nessa intensidade é maior que quando comparado ao modelo contínuo, possivelmente gerando adaptações de diferentes magnitudes e consequentemente um maior aprimoramento aeróbio.

Ainda nessa perspectiva, em função do elevado estresse neuromuscular e metabólico causado em ambos modelos de exercício, sabe-se que as sessões de treinamento não são prescritas no modelo do presente estudo (exaustão). Entretanto, a prescrição do treinamento

aeróbio intervalado de alta intensidade utiliza como referência aspectos como TE, relação esforço:pausa, duração das repetições e tipo de recuperação (ativa x passiva). Assim, mesmo que os testes tenham sido realizados em laboratório e em condições controladas, os resultados obtidos servem como referência para a prescrição de treinamento no campo.

Por exemplo, considerando que no presente estudo os atletas suportaram em média 11 repetições de 5 min na $MLSS_{int}$, as sessões de treinamento podem ser baseadas a partir desses achados. É importante ressaltar que a escolha das características do modelo intervalado empregadas no presente estudo foram baseadas nas sessões de treinamento geralmente utilizadas por corredores de endurance, como repetições de 1200-1600m (duração próxima de 5 minutos), dependendo do nível do atleta (BILLAT, 2001). Assim, tendo em vista que distâncias de 8 a 10 km (volume da sessão) são geralmente utilizadas nas sessões de treinamento de alta intensidade de atletas de endurance, séries constituídas por 7 a 9 repetições na $MLSS_{int}$ podem ser empregadas como um modelo de treinamento. Além disso, a partir das respostas encontradas, pode-se prescrever treinos com diferentes relação esforço:pausa, mas para a prescrição adequada deve-se considerar a relação entre intensidade e duração dos estímulos.

Uma outra perspectiva do estudo, foi analisar as respostas neuromusculares e também bioquímicas decorrentes da exaustão na $MLSS$. Em função do repetitivo ciclo alongamento-encurtamento, a corrida gera um efeito deletério nas funções neuromusculares (MILLET et al., 2003), provocando fadiga muscular (ROSS et al., 2010). Os achados do presente estudo mostram que a força isométrica (CVM) dos extensores do joelho diminuiu $14,8 \pm 12,2$ % após a corrida contínua e $13,1 \pm 7,3$ após o modelo intervalado. Essa redução não é tão expressiva quanto a observada por Millet et al. (2003) e Place et al., (2004) que encontraram, respectivamente, uma redução de 25% após um corrida de 30km e de 28% após 4h de exercício. A maior redução na CVM nesses estudos está provavelmente relacionada ao maior tempo, intensidade e distancia percorrida, bem como ao tipo de corrida, visto que a corrida de 30km foi de *cross-country*, tendo assim um relevo variado. Por outro lado, em um estudo com distância (20km) e intensidade ($13,3 \pm 1,0$ km.h⁻¹) similar ao presente estudo, Ross et al. (2010) encontraram uma redução de força de 15 ± 12 %, corroborando com os achados da presente investigação.

Além da diminuição da força máxima, por meio da análise do sinal eletromiográfico, pôde-se também observar uma diminuição no valor RMS. O RMS reflete a atividade elétrica das unidades motoras e conseqüentemente os efeitos que o exercício físico exerce na ativação muscular dessas unidades. Os achados do presente estudo mostraram uma redução significativa no valor de RMS do músculo vasto lateral (figura 2), enquanto mesmo que não tenha apresentado diferença significativa, a ativação do músculo reto femoral também tendeu a diminuir. Entretanto, é importante ressaltar que durante o exercício de contração voluntária máxima, ou seja, extensão dos flexores do joelho, o músculo RF parece não ser tão utilizado como o VL, em função do tipo de exercício. Somado a isso, essas diferenças também podem estar associadas ao fato de que os músculos monoarticulados (VL) são produtores de força, enquanto o papel dos biarticulares (RF) é transferir força para as articulações (HOF, 2001). O presente estudo encontrou uma diminuição significativa do RMS do VL tanto no modelo contínuo (23%) quanto no intermitente (16%). Corroborando com o presente achado, Ross et al.(2010), encontraram além da diminuição de força, uma redução no RMS do VL de $20 \pm 22\%$ após uma corrida de 20 km. Ainda nessa perspectiva, Millet et al. (2002) também encontraram uma redução similar, $21 \pm 18\%$, no VL após uma corrida de 30 km.

É importante salientar que não foi encontrada diferença significativa entre os valores pré exercício no modelo contínuo e intervalado para o Torque e o RMS, sendo que dessa forma pode-se considerar que os atletas completaram em condições similares ambos os testes. Assim, por meio dos achados do presente estudo, verifica-se que a intensidade (MLSS) e a duração da corrida (~60 min) em ambos modelos de exercício (contínuo e intervalado) foram suficientes para gerar uma diminuição da ativação muscular, provavelmente em função da fadiga das fibras musculares.

Uma limitação do presente estudo foi não mensurar a contribuição da fadiga central nessa intensidade de exercício, pois se sabe que a diminuição no RMS durante a CVM não necessariamente implica um déficit maior na ativação central, entretanto em um estudo que objetivava analisar as alterações neuromusculares após uma corrida de 20 km na intensidade do OBLA, Ross et al. (2010) já encontraram a participação da fadiga central e periférica após a corrida. Outra limitação do presente estudo, foi não ter mensurado o tempo em que a capacidade de gerar força muscular foi restabelecido após o teste de

exaustão. Esta informação poderia fornecer subsídios para o tempo de aplicação de novas cargas de treinamento exaustivo.

Somado as alterações neuromusculares, as respostas bioquímicas também permitem verificar o estresse que correr nessa intensidade pode causar. O nível sérico das enzimas musculares esqueléticas é um marcador do estado funcional do tecido muscular, por isso, um aumento nessas enzimas pode ser um indicador de dano muscular (BRANCACCIO et al., 2008). A CK eleva-se durante o exercício físico para manter o ATP muscular durante a atividade, comprovando que são indicativos do comprometimento da membrana celular muscular em resposta ao grande estresse físico que também é refletido pelo aumento do cortisol. Tanto a CK como a LDH estão localizadas no citoplasma celular e são liberadas na circulação quando ocorre ruptura destas células. Assim, durante a corrida o estresse mecânico parece ser um fator importante que provoca o extravasamento das enzimas musculares, principalmente em função da contração excêntrica envolvida neste tipo de exercício. No treinamento físico, outros fatores influenciam a magnitude do dano muscular, como a distância percorrida, intensidade, temperatura, tipo de corrida (impacto) e o nível de treinamento (NOAKES, 1987).

Os achados do presente estudo indicam um aumento significativo de 65% da CK no modelo contínuo e 39% no intervalado, enquanto a LDH teve um aumento menos expressivo, sendo de 45% e 24%, respectivamente. Mas, um aspecto que pode explicar esse menor extravasamento da LDH na corrente sanguínea é o fato do LDH possuir uma estrutura molecular maior, dificultando assim sua passagem para fora do citoplasma (CLARKSON; HUBAL, 2002). Além disso, é importante ressaltar que não foi encontrada diferença significativa nos marcadores de dano muscular (figura 4) no modelo contínuo e intervalado, o que sugere que os atletas chegaram ao laboratório em condições similares para realizar os testes de TE.

França et al. (2006) verificaram os marcadores de dano muscular causado após uma maratona, e encontraram uma elevação de 110% na atividade da CK total, e de 34% na LDH. Já Siqueira et al. (2009) encontraram um aumento de aproximadamente 120% para CK total e 50% para LDH após uma corrida de meia maratona. Vale ressaltar que os aumentos mais expressivos encontrados nos estudos citados, está provavelmente relacionado à diferença na intensidade, duração, distância percorrida e nível dos atletas. Somado a isso, é importante ressaltar que na literatura consultada parece não haver

estudos que analisaram o comportamento bioquímico em atividades intermitentes na corrida. Uma outra diferença entre os estudos acima citados é em relação ao relevo das provas, já que é conhecido que a corrida em descidas induz maior dano muscular, quando comparado a corrida em terreno plano ou em subidas (POPRZECKI et al., 2002).

Estudos envolvendo valores de referência para estes parâmetros bioquímicos de dano muscular em atletas profissionais durante uma sessão de treinamento ainda são inconclusivos (FEBBRAIO, DANCEY, 1999, CLARKSON, HUBAL, 2002). Isso se deve ao fato de que algumas alterações bioquímicas sofrem influência do gênero, repouso prévio, intensidade do treinamento, hidratação, entre outros (SIQUEIRA et al., 2009). Dessa forma, isso mostra a necessidade de um acompanhamento individualizado do atleta para que se conheça o verdadeiro limite bioquímico entre a adaptação ao exercício e o início de *overtraining*.

Além da CK e do LDH, o cortisol e a testosterona também vêm sendo estudados para verificar a sua relação com o exercício (SIMÕES et al. 2004, DALY et al., 2005, FRANÇA et al. 2006, SIQUEIRA et al., 2009,) em função da sua relação com o metabolismo energético. O cortisol, além de refletir o estresse do exercício, estimula o fracionamento das proteínas para os componentes aminoácidos em todas as células do corpo, exceto no fígado. Os aminoácidos liberados são conduzidos ao fígado, onde participam na síntese de glicose, através da gliconeogênese. Além disso, o cortisol também acelera a mobilização e a utilização das gorduras para obtenção de energia, através da lipólise. (FRANÇA et al., 2006). Já, a testosterona é um esteróide anabólico, que participa de vários processos metabólicos, aumentando a síntese de proteínas (e da massa muscular) e a deposição de glicogênio nos músculos (FRANÇA et al., 2006).

Em relação ao cortisol, nossos achados mostram um aumento significativo de 133% (contínuo) e 123% (intermitente) desse hormônio após uma corrida até exaustão na MLSS. Nenhum estudo reportando a função endócrina após exercícios nesta intensidade foi encontrado na literatura, entretanto esses resultados estão de acordo com a literatura, pois parece já estar bem estabelecido, que após eventos de longa duração ocorre um aumento do cortisol (DALY et al., 2005, TREMBLAY et al., 2005, FRANÇA et al., 2006, KARKOULIAS et al., 2008) mesmo em diferentes intensidades e durações da corrida. Os estudos acima verificaram o comportamento do cortisol após eventos de diferentes durações: corrida até exaustão na intensidade do limiar

ventilatório, corrida de 40, 80 e 120 min a 55% do VO_2 max, corrida de maratona e corrida de meia maratona, respectivamente. Embora esses estudos tenham encontrado aumentos de diferentes magnitudes, todos encontraram aumentos significantes ($p < 0,05$) do cortisol após essas corridas. É importante salientar, que nenhum dos estudos verificou o comportamento do cortisol após eventos intermitentes.

Já, em relação a testosterona, os resultados encontrados acerca do seu comportamento após eventos de longa duração ainda são contraditórios. Alguns estudos verificaram a diminuição desse hormônio após corridas de longa duração (KARKOULIAS et al. 2008, FRANÇA et al., 2006, SIQUEIRA et al., 2009). Por exemplo, França et al. (2006) em um estudo com 20 maratonistas, encontraram que após uma corrida de maratona os níveis de testosterona diminuíram significativamente, de $673 \pm 224 \mu\text{g}$ para $303 \pm 148 \mu\text{g}$. Por outro lado, também avaliando eventos de longa duração como a maratona, outros estudos encontram o aumento da testosterona após a corrida (DALY et al., 2008, GUGLIELMI; PAOLINI; CONCONI, 1984, PONJEE; DE ROOY; VADER, 1994). Nossos achados corroboram com esse comportamento, pois a testosterona apresentou um aumento significativo em ambos modelos de exercício (figura 4). Entretanto, é importante ressaltar que as diferenças relacionadas a intensidade e duração da corrida podem explicar as diferentes respostas encontradas. Por fim, as respostas da testosterona ao exercício ainda não estão claras e por isso mais estudos devem ser realizados acerca de seu comportamento em eventos de longa duração.

Compreender essas respostas endócrinas é importante para a manutenção do rendimento do atleta, pois o *overtraining* pode causar distúrbios persistentes nesses hormônios que podem prejudicar a *performance* esportiva. Quando ocorre *overtraining*, os níveis de repouso de testosterona estão geralmente reduzidos e os de cortisol elevados, e quando essas condições persistem por muito tempo, estas alterações podem se manifestar como redução crônica da *performance*, acompanhada de um ou mais sintomas físicos, como elevação da frequência cardíaca de repouso, perda de peso, diminuição da libido, alterações no sono (FRANÇA et al., 2006), prejudicando dessa forma a performance do atleta.

Por isso, em função dos seus efeitos anabólicos (testosterona) e catabólicos (cortisol), o acompanhamento periódico desses hormônios pode contribuir para auxiliar no controle da sobrecarga aplicada durante um período de treinamento, bem como verificar os efeitos adaptativos

ao programa de exercício realizado (SIMÕES et al., 2004). Além disso, controlar essas alterações pode contribuir para que se conheçam os limites do atleta e assim respeite-se um repouso necessário para sua recuperação.

Por fim, observa-se que o exercício até a exaustão na intensidade da MLSS no modelo contínuo e intervalado, causa efeitos deletérios significantes na força do atleta (figura 3), podendo estar relacionado com o dano muscular e estresse fisiológico inerente a um exercício até o limite individual (figura 4). Dessa forma, tendo em vista que essas respostas não são atraentes para compor as sessões de treinamento, pois podem conduzir ao *overtraining* e consequentemente prejudicar a qualidade dos treinos posteriores, deve-se ter cautela e levar em consideração essas respostas para compor as sessões de treinamento que induzam a exaustão completa do atleta.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados no presente estudo, conclui-se que quando a velocidade de MLSS é determinada de forma intervalada, esta apresenta diferença significativa em relação ao modelo contínuo. Assim, deve-se ter cautela na utilização dessas velocidades para o treinamento, pois a utilização da MLSS_{con} para treinamentos intervalados pode subestimar a intensidade de uma sessão de treinamento.

Além disso, foi encontrado que o TE na MLSS é significativamente maior no modelo contínuo que no intervalado. Entretanto, em função da intensidade do exercício, os efeitos gerados na perda de força, no dano muscular e no sistema endócrino são alterados na mesma magnitude em ambos modelos de exercício, mesmo que no modelo intervalado foi encontrado um menor TE (-20%).

Dessa forma, esses aspectos devem ser considerados na prescrição do treinamento para que não ocorra uma sobrecarga que conduza ao *overtraining*, bem como atenção deve ser dada na relação entre intensidade e duração dos estímulos.

Entretanto, mais estudos devem ser desenvolvidos para compreender melhor o efeito dessas respostas fisiológicas, neuromusculares e bioquímicas nessa intensidade de exercício e também para verificar os efeitos do treinamento na MLSS especialmente no modelo intervalado.

7. REFERÊNCIAS

ALLEN, D.G., LAMB, G. D., WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiology review**, v. 88, p. 287-332, 2008.

ALLEN, W. K., SEALS, D. R., HURLEY, B. F. EHSANI, A. A., HAGBERG, J. M. Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. **Journal of Applied Physiology**, v. 58, p. 1281– 1284, 1985

AMENT W., VEKERKE, G. J. Exercise and fatigue. **Sports medicine**, v. 39, n. 5., p.389 – 422, 2009.

BALOG, E. M., THOMPSON, L.V., FITTS, R.H. Role of sarcolemma action potentials and excitability in muscle fatigue. **Journal of applied physiology**, v. 76, n. 5, p. 2157-62, 1994.

BARON, B., DEKERLE, J., ROBIN, S., NEVIERE, R., DUPONT, L., MATRAN, R., VANVELCENAHAR, J., ROBIN, H., PELAYO, P. Maximal lactate steady state does not correspond to a complete physiological steady state. **International Journal Sports Medicine**, v. 24, p.582-587, 2003.

BARON, B.; NOAKES, T. D.; DEKERLE, J.; MOULLAN, F.; ROBIN, S.; MATRAN, R.; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 10, p. 528-533, 2008.

BASSETT, D. R. JR.; 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.

BENEKE, R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady-state in rowing. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, n.6, p. 863- 867, 1995.

BENEKE, R.; VON DUVILARD, S. P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.28, n.2, p.241-246, 1996.

BENEKE, R.; HÜTLER, M.; LEITHÄUSER, R. M. Maximal lactate-steady-state independent of performance, **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 6, p. 1135-1139, 2000.

BENEKE, R.; LEITHÄUSER, R.; HÜTLER, M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. **British Journal of Sports Medicine**, v.35, n.3, p.192-196, 2001.

BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **European Journal of Applied Physiology**, v.88, n. 4-5, p.361-369, 2003.

BENEKE, R., LEITHAUSER, R. M., OCHENTEI, O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. **International Journal of Sports physiology and performance**, v. 6, n.1, p.8- 24, 2011.

BERG, A.; JOKOB, M.; LEHMANN, H. H.; DICKHUTH, G.; HUBER, J. Aktuelle Aspekte der modernen ergometrie. **Pneumologie**. v. 44, p. 2-13, 1990.

BERGH, U., SJÖDIN, B., FORSBERG, A., SVEDENHAG, J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 23, n. 2, p.205-211, 1991.

BILLAT, V. L.; RENOUX, J. C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. Reproducibility of running time to exhaustion at VO_2 max in sub-elite runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.26, n.2, p.254-257, 1994

BILLAT, V.L., DALMAY, F., ANTONINI, M.T., CHASSAIN, A.P. A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 69, p.196–202, 1994.

BILLAT, V. L.; RENOUX, J. C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO_2 max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite longdistance runners. **Archives of physiology and biochemistry**, v.103, n.2, p. 129-135, 1995.

BILLAT, V. L. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training: recommendations for long-distance running. **Journal of Applied Physiology**, v. 22, n. 3, p.157-175, 1996.

BILLAT, V. L.; FLECHET, B.; PETIT, B.; MURIAUX, G. KORALSZTEIN, J.P. Interval training at VO_2 max: effects on aerobic performance and over training markers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.31, n.1, p.156-163, 1999.

BILLAT, V. L.; SIRVENT, P.; PY, G.; KORALSZTEIN, J.P. AND 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.

BILLAT, V. L.; SIRVENT, P.; LEPRETRE, P.M.; KORALSZTEIN, J. P. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *Pflugers Arch*: **European Journal of Physiology**, v. 447, n. 6, p.875-883, 2004.

BORG, G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, p. 377–381, 1982.

BRANCACCIO, P., MAFFULLI, N., LIMONGELLI, F.M. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **Clinics in sports medicine**, v.7, n.1, p. 1-18, 2008.

CADORE, E.; LHULLIER, F.; BRENTANO, M.; SILVA, E.; AMBROSINI, M.; SPINELLI, R.; SILVA, R.; KRUEL, L. Correlations between serum and salivary hormonal concentrations in response to resistance exercise. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, p. 1067-1072, 2008.

CAPUTO, F.; DE LUCAS, R. D.; MANCINI, E.; DENADAI, B. S. Comparação de diferentes índices obtidos em testes de campo para predição da performance aeróbia de curta duração no ciclismo. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 9, p. 13-17, 2001.

CLARKSON, P.M., HUBAL, M.J. Exercise-induced muscle damage in humans. **American journal of physical medicine and rehabilitation**, v. 81, n.11 Suppl, p.52-69, 2002.

CREWE, H., TUCKER, R., NOAKES, T.D. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, p.569 – 577, 2008.

DALY W., SEEGER C.A., RUBIN D.A., DOBRIDGE J.D., HACKNEY A.C. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. **European journal of applied physiology**, v. 93, p. 375–380. 2005.

DE LUCAS, R. D.; DENADAI, B. S.; GRECO, C. C. Respostas fisiológicas durante o exercício contínuo e intermitente: implicações para a avaliação e a prescrição do treinamento aeróbio. **Motriz**, v. 15, n. 4, p. 810-820, 2009.

DEMARIE, S.; KORALSZTEIN, J. P.; BILLAT, V. L. Time limit and time at VO_2 máx., during a continuous and intermittent run. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 40, n. 2, p. 96-102, 2000.

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 VO_2 max: implicações para o treinamento e a performance. **Revista de Educação Física**, n.124, p.23-36, 2000.

DENADAI, B. S.; FIGUEIRA, T. R; FAVARO, O. R. P.; GONÇALVES, M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 37, n. 10, p. 1551-1556, 2004.

DEKERLE, J., BARON, B., DUPONT, L., VANVELCENAHER, J., PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **European Journal of Applied physiology**, v.89, 281-288, 2003.

DUPONT, G, MOALLA, W, GUINHOUYA, C, AHMAIDI, S, AND BERTHOIN, S. Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36,p. 302–308, 2004.

FARREL, P. A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E. F.; BILLING, J. E.; COSTILL, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.11, n.44, p.338-44, 1979.

FEBBRAIO, M.K., DANCEY, J. Skeletal muscle energy metabolism during prolonged, fatiguing exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n.6, p.2341 – 2347, 1999.

FIGUEIRA, T. R.; CAPUTO, F.; PELARIGO, J. G.; DENADAI, B. S. Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, n. 3, p. 280-286, 2008.

FITTS, R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiology review**, v.74, n.1.,p. 49-94, 1994.

FONTANA, P.; BOUTELLIER, U.; KNÖPFLI-LENZIN, C. Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. **European Journal Applied Physiology**. v.107, n.2, p.187-192, 2009.

FRANÇA, S.C. A., NETO, T.L.B., AGRESTA, M.C., LOTUFO, R.F.M., KATER,C.E. Resposta divergente da testosterona e do cortisol séricos em atletas masculinos após uma corrida de maratona. **Arquivos Brasileiros de endocrinologia e metabolismo**, v.50, n.6, 2006.

FREUND, H.; OYONO-ENGUELLE, S.; HEITZ, A.; MARBACH, J.; OTT, C.; GARTNER, M. Effect of exercise duration on lactate kinetics after short muscular exercise. **European Journal Applied Physiology**, v.58, p.534-42, 1989.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise Sport Science Reviewes**, v. 24, p. 35-71, 1996.

GLADDEN, L.B. Muscle as a consumer of lactate. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, p.764–71, 2000

GOODWIN, M. L.. Blood glucose during prolonged, submaximal, continuous exercise: A guide for clinicians. **Journal of Diabetes Science and Technology**, v.4,n.3, 2010.

GRECO, C. C.; CAPUTO, F.; DENADAI, B. S. Critical Power and maximal oxygen uptake: estimating the upper limit of the severe domain, a new challenge? **Science and Sports**, v.23, n. 5, p. 216-222, 2008.

GRECO, C. C., OLIVEIRA, M. F. M., CAPUTO, F., PELARIGO, J. G., DENADAI, B. S. Effect of aerobic performance level on the maximal lactate steady state determined during intermittent protocol in swimming. **Revista Brasileira de medicina do esporte**, v. 16, p. 130-133, 2010.

GROSSL, T. **Tempo de exaustão na máxima fase estável de lactato em protocolo contínuo e intermitente no ciclismo**. Dissertação (Mestrado em cinesantropometria e desempenho humano) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

GUGLIELMINI, C., PAOLINI, A.R., CONCONI, F. Variations of serum testosterone concentrations after physical exercises of different duration. **International Journal Sports Medicine**, v.5, n.5, p. 246-249, 1984.

GUGLIELMO, L. G. A. **Efeitos de diferentes tipos de treinamento sobre a intensidade e o tempo de exaustão a 100 % do VO₂max**. Tese (Doutorado em Ciências da motricidade) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

HACKNEY A. C. Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress. **Expert Review of Endocrinology Metabolism**, v. 1, n.6, p. 783-92, 2006.

HARLING, S. A.; TONG, R. J.; MICKLEBOROUGH, T. D. The oxygen uptake response running to exhaustion at peak treadmill speed. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 4, p. 663-668, 2003.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Science**, v.6, p.117-30, 1985.

HERMANSEN, L., OSNES, J.B. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. **Journal of applied physiology**, v. 32,n.3, p. 304-308,1972.

HIKIDA, R.S., STARON, R.S., HAGERMAN, F.C., SHERMAN, W.M., COSTILL, D.L. Muscle fibre necrosis associated with human marathon runners. **Journal of the neurological sciences**, v. 59, n.2, p. 185-203, 1983.

HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and time to achieve VO_2 max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.34, n.4, p.709-714, 2002.

HOF, A. L. The force resulting from the action of mono and biarticular muscles in a limb. **Journal of biomechanics**, v. 34, n.8, p. 1085-1089, 2001.

JACKSON, A. S. POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, n. 40, p. 497-504, 1978.

JONES, A. M.; DOUST, J. H. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, n. 8, p. 1304-1313, 1998.

KARKOULIAS, K., HABEOS, I., CHAROKOPOS, N., TSIAMITA, M., MAZARAKIS, A., POULI, A., SPIROPOULOS, K. Hormonal responses to marathon running in non-elite athletes. *European Journal of Internal Medicine*, v.19, n. 8, p. 598-601, 2008.

LAURSEN, P. B.; SHING, C. M.; PEAKE, J. M.; COOMBES, J. S.; JENKINS, D. G. Interval training program optimization in highly

trained endurance cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, 2002.

LEGAZ-ARRESE, A., CARRANZA-GARCIA, L. E., SERRANO-OSTÁRIZ, E., GONZALES-RAVÉ, J.M., TERRADOS, N. The traditional maximal lactate steady state test versus the 5 x 2000m test. **International Journal Sports Medicine**, v. 32, p. 845-850, 2011.

LEPERS, R., HAUSSWIRTH, C., MAFFIULETTI, N., BRISSWALTER, J., VAN HOECKE, J. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n.11, p.1880-1886, 2000.

LEPERS, R., MAFFIULETTI, N.A., ROCHETTE, L., BRUGNIAUX, J., MILLET, G.Y. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. **Journal of applied physiology**, v. 92,n.4, p. 1487-93, 2002.

LIMA SILVA, A. E.; DE-OLIVEIRA, F. R.; GEVAERD, M. S. Mecanismos de fadiga durante o exercício físico. **Revista Brasileira de cineantropometria e desempenho humano**, v.8, n.1, p.105-113, 2006.

LAURSEN, P. B.; SHING, C. M.; PEAKE, J. M.; COOMBES, J. S.; JENKINS, D. G. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, 2002.

MARTIN, V., KERNHERVÉ, H., MESSONIER, L. A., BANFI, J.C., GEYSSANT, A., BONNEFOY, R. FÉASSON, L., MILLET, G.Y. Central and peripheral contributions to neuromuscular fatigue induced by a 24-h treadmill run. **Journal of applied physiology**, v.108, n.5, p. 1224-33, 2010.

MCCULLY, K. Biomechanical adaptations to training: implications for resisting muscle fatigue. **Canadian journal of physiology and pharmacology**, n.69, p. 274-278,1991.

MESSONNIER, L., FREUND, H., DENIS, C., DORMOIS, D., DUFOUR, A.B., LACOUR, J. R. Time to exhaustion at VO_{2max} is

related to the lactate exchange and removal abilities. **International Journal Sports Medicine**, v. 23, n.6, p. 433-438, 2002.

MILLET, G. Y, LEPERS, R, MAFFIULETTI, N. A., BABAULT, N., MARTIN, V., LATTIER, G. Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. **Journal of applied physiology**, v. 92, p.486-92, 2002.

MILLET, G.Y., MARTIN, V., MAFFIULETTI, N.A., MARTIN, A.. Neuromuscular fatigue after a ski skating marathon. **Canadian Journal of Applied physiology**, v. 28, n.3, p.434-445, 2003.

MILLET, G.Y., LEPER,S R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. **Sports medicine**, v. 34, p.105–116, 2004

MOUGIOUS,V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. **British journal of sports medicine**, v. 41, n.10, p.674-678, 2007.

NOAKES, T.D. Effect of exercise on serum enzyme activities in human. **Sports Medicine**, v.4, n. 4, p. 245-267, 1987.

NOAKES, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.20, n.4, p.319-30, 1988.

NOAKES, T.D., ST CLAIR GIBSON, A., 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. **British Journal of Sports Medicine** , v. 39, p.120 – 124, 2005.

OKUNO, N.M., PERANDINI, L.A., BISHOP, D., SIMÕES, H.G., PEREIRA, G., BERTHOIN, S., KOKUBUN, E., NAKAMURA, F.Y. Physiological and perceived exertion responses at intermittent critical power and intermittent maximal lactate steady state. **Journal of strength and conditioning research**, v. 25, n.7, p. 2053-2058, 2011.

OLIVEIRA, M. F. M. **Respostas metabólicas e da técnica de nado durante exercício realizado na velocidade correspondente à máxima fase estável de lactato sanguíneo determinada de forma contínua e intermitente.** Dissertação (Mestrado em Ciências da motricidade) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

PERDERSON, B., H., BRUUNSGAARD, M., KLOKKER, M., KAPPEL, D., MacLEAN, H., NIELSON, T., RHODE, H., ZACHO, M. Exercise-induced immunomodulation – possible roles of neuroendocrine and metabolic factors. **International journal of sports medicine**, v.1, Sup.1 S2-S7, 1997.

PEREIRA, L.; GUGLIELMO, L.G.A.; HIGINO, W.P. Efeito do tipo de protocolo (intermitente versus contínuo) sobre a máxima fase estável de lactato (MSSLAC) obtida durante a corrida na esteira. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 14, n. 4 (supl), p. S58, 2006.

PLACE, N., LEPERS, R., DELEY, G., MILLET, G. Time course of neuromuscular alterations during a prolonged running exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, n.8, p.1347-56, 2004.

PHILP, A.; MACDONALD, A. L.; CARTER, H.; WATT, P. W.; PRINGLE, J. S. Maximal Lactate Steady State as a Training Stimulus. **Internacional Journal Sports Medicine**, v.29, p. 475-479, 2008.

PONJEE, G.A., DE ROOY, H.A., VADER, H.L. Androgen turnover during marathon running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 26, n.10, p.1274 – 1277, 1994.

POWERS, S., E., HOWLEY, E., T. **Fisiologia do exercício. Teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**, 5a ed. Barueri, SP: Manole, 2005.

PRINGLE, J. S.; JONES, A. M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **European Journal Applied Physiology**, v.88, n.3, p. 214-226, 2002.

ROSS, E.Z., GOODALL, S., STEVENS, A., HARIS, I. Time course of neuromuscular changes during running in well-trained subjects.

Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 42, n.6, 1184-90,2010.

SEILER, S.; HETLEID, K.J. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.37, p.1601-1607, 2005.

SHERWOOD L. Fundamentals of human physiology. 1994

SILVA, A. C.; TORRES, F. C. Ergoespirometria em Atletas Paraolímpicos Brasileiros. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v.8, n.3, p.107-116, 2002

SIMÕES, H.G., MARCON, F., OLIVEIRA, F., CAMPBELL, C.S.G., BALDISSERA, V., COSTA-ROSA, L.F.B.P. Resposta da razão testosterona/cortisol durante o treinamento de corredores velocistas e fundistas. **Revista Brasileira de educação física e esporte**, v.18, p. 31-46, 2004.

SIQUEIRA, L.O., MUCCINI,T., AGNOL,L.D., FILLA, L., TIBBOLA, P., LUVISON, A., COSTA, L., MOREIRA, J.C.F. Análise de parâmetros bioquímicos séricos e urinários em atletas de meia maratona. **Arquivos Brasileiros de endocrinologia e metabolismo**, v.53, n.7, p. 844-852, 2009.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: J. Brozek & A. Henschel (eds). **Techniques for measuring body composition** . Washington, DC: National Academy of Sciences, p.223-244, 1961.

SJOBODIN, B., SVEDENHAG, J., Applied physiology of marathon running. **Sports Medicine**, v.2, n. 2, p. 83 – 89, 1985.

SKOF, B. STROJNIK, V. Neuromuscular fatigue and recovery dynamics following prolonged continuous run at anaerobic threshold. **British journal of sports medicine**, v. 40, p.219-222, 2006.

STROJNIK, V., KOMI, P.V. Fatigue after submaximal intensive stretch-shortening cycle exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, p.1314-1319, 2000.

TAYLOR, J. R., TODD, G., GANDEVIA, S.C. Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. **Clinical and experimental pharmacology and physiology**, v.33, p. 400-405, 2006.

TAYLOR, J. L., GANDEVIA, S.C. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. **Journal of applied physiology**, v.104, n.2, p. 542-50, 2008.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

TREMBLAY, M.S., COPELAND, J.L., VAN HELDER, W.. Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormonal responses in trained males. **European Journal of Applied physiology**, v. 94, p. 505-513, 2005.


URHAUSEN, A., GABRIEL, H., KINDERMAN, W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. **Sports Medicine**, v.20, p.251-276, 1995.

VOLLESTAND, N.K., BLOM, P.C. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers. **Acta physiologica Scandinavica**, v. 125, n. 3, p. 395-405, 1985.

WEINECK, J. **Treinamento ideal**. 9 ed. São Paulo, Manole, 1999.

WELTMAN A. The blood lactate response to exercise. In: **Current issues in exercise science. Monograph 4**. Champaign. IL: Human Kinetics, 1995.

ANEXOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão
 Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos

CERTIFICADO Nº 801

O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina, instituído pela PORTARIA N.º 584/GR.99 de 04 de novembro de 1999, com base nas normas para a constituição e funcionamento do CEPSH, considerando o conteúdo no Regimento Interno do CEPSH, **CERTIFICA** que os procedimentos que envolvem seres humanos no projeto de pesquisa abaixo especificado estão de acordo com os princípios éticos estabelecidos pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP.


APROVADO

PROCESSO: 801 **FR:** 341351

TÍTULO: Efeitos da temporada competitiva na variáveis fisiológicas em atletas de futebol

ATOR: Luiz Guilherme Antonacci Gugelmeio, Thiago Cascas dos Santos

FLORIANÓPOLIS, 31 de Maio _____ de 2010.



APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: Tempo de exaustão na máxima fase estável de lactato em protocolo contínuo e intermitente na corrida

Você está sendo convidado a participar, como voluntário, da pesquisa intitulada:

Respostas cardiorespiratórias, neuromusculares e bioquímicas no tempo de exaustão em protocolo contínuo e intermitente na corrida a ser realizada junto ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF), vinculado ao Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A participação no estudo não envolve nenhum gasto para o participante e todos os materiais necessários serão providenciados pelos pesquisadores. Com sua adesão ao estudo, você ficará disponível para a pesquisa em algumas visitas ao CDS, com duração aproximada de 60 minutos cada.

1ª Visita - Na primeira sessão, um avaliador preencherá uma ficha com seus dados pessoais e, logo após, você será submetido à avaliação antropométrica, na qual serão realizadas medidas de massa corporal (kg), estatura (cm) e dobras cutâneas (peitoral, axilar média, tríceps, subescapular, abdômem, supra-íliaca e coxa medial) para cálculo do % de gordura. Em seguida será aplicado um teste incremental máximo na esteira (IMBRAMED, modelo ATL 10200) para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_2max), frequência cardíaca máxima ($FCmax$), pico de velocidade (PV) e o *onset of blood lactate accumulation* (OBLA). A velocidade inicial será de 10 km.h^{-1} com 1 % de inclinação e incrementos de 1 km.h^{-1} a cada 3 minutos até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio, será realizada a coleta de sangue no lóbulo da orelha para posterior mensuração do lactato sanguíneo. Esse procedimento não oferece riscos ao avaliado e todos os cuidados necessários serão tomados para a coleta de sangue. Os índices determinados neste teste são indicadores do seu condicionamento aeróbio e fornecerá importantes dados para a prescrição do seu treinamento.

2ª a 5ª Visitas - Para determinação da máxima fase estável de lactato (MLSS) em protocolo contínuo, será realizado um teste de 30 min de velocidade constante, sendo que a v inicial é referente ao OBLA. As coletas para mensuração do lactato sanguíneo serão realizadas no 10º

e 30^o min da avaliação, até a identificação da mesma. A velocidade inicial será determinada de acordo com o OBLA individual de cada atleta, mensurada no teste incremental. Caso nessa intensidade não ocorra a MLSS, outro teste de velocidade constante deverá ser realizado, em dia diferente, até que se determine a MLSS.

Para identificação da MLSS em protocolo intermitente, será realizado o mesmo procedimento, porém, com intervalos de 60s para coleta de sangue a cada 5min no teste de velocidade constante de 30min, juntamente com a dosagem de lactato sanguíneo a partir do 10^o min.

6^a e 7^a Visita - Na 6^a visita será realizado um teste até a exaustão (Tlim), na velocidade da MLSS anteriormente encontrada em protocolo contínuo. A coleta de lactato sanguíneo acontecerá no 10^o, 30^o e no final do teste, ou seja, na exaustão. Para determinação do tempo de exaustão em protocolo intermitente, na 7^a visita, será realizado um teste até a exaustão na velocidade da MLSS anteriormente encontrada em protocolo intermitente. Este protocolo terá interrupções de 60s a cada 5 min até a exaustão. A coleta de lactato sanguíneo acontecerá a partir do 10^o min, em cada intervalo, até o final do teste. Os tempos das pausas não serão contados.

Antes e logo após os testes realizados na 6^a e na 7^a avaliação será coletado sangue da veia cubital do braço direito para a mensuração das variáveis bioquímicas (cortisol, testosterona e CK). A coleta será realizada por profissionais especializados. Os riscos relacionados com a sua participação nesse procedimento se resumem à picada da agulha, não requerendo nenhum cuidado posterior. Posterior as coletas de sangue também será realizado um exercício de contração voluntária máxima antes e após o Tlim, sendo que esse procedimento pode causar um desconforto momentâneo gerado pela contração voluntária máxima da extensão do joelho.

Em todas as avaliações a FC e o VO₂ serão monitorados durante todo o teste por meio de um cardiofrequencímetro da marca Polar® (modelo S610i) permitindo o registro do comportamento da FC a cada 5s, e respiração a respiração a partir do gás expirado (QUARK, COSMED), sendo os dados reduzidos às médias de 15s, respectivamente.

Para participar deste estudo você deve estar apto para realizar exercícios físicos de alta intensidade. Da mesma forma, deve estar ciente que tem a possibilidade de apresentar náuseas e vômito em decorrência do esforço na realização do teste. No entanto, menos de 1% da

população americana apresenta desconforto durante este tipo de teste (*American College of Sports Medicine*).

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você contribuirá para o desenvolvimento da ciência, dando possibilidade a novas descobertas e ao avanço das pesquisas; além de ser informado sobre sua composição corporal e limiares de transição metabólica norteadoras do treinamento físico, a partir do repasse do relatório individual de sua avaliação.

As pessoas que o acompanharão serão o Prof. Dr. Luiz Guilherme A. Guglielmo, o doutorando Ricardo Dantas e a mestranda Naiandra Dittrich, além de alguns colaboradores do LAEF.

Salientamos, ainda, que você poderá retirar-se do estudo a qualquer momento. Do contrário, solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida por meio da não-identificação do seu nome.

Agradecemos desde já a sua colaboração e participação.

CONTATOS:

Prof^ª: Naiandra Dittrich

e-mail: naiia_dittrich@yahoo.com.br

Tel: (48) 99972048

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo

e-mail: luizguglielme@cds.ufsc.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado, de forma clara e objetiva, sobre todos os procedimentos do projeto de pesquisa intitulado **Respostas cardiorespiratórias, neuromusculares e bioquímicas no tempo de exaustão em protocolo contínuo e intermitente na corrida** Estou ciente que todos os dados a meu respeito serão sigilosos e que posso me retirar do estudo a qualquer momento. Assinando este termo, eu concordo em participar deste estudo.

Nome por extenso _____

Assinatura _____

Florianópolis (SC) _____/_____/_____

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
(Pesquisador Responsável/Orientador)

Profa. Mda. Naiandra Dittrich
(Pesquisador Principal/Orientando)