
Licenciatura em Educação Física

LUIZ HENRIQUE ORLANDO

**INTERPRETAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR POR
MEIO DA ELETROMIOGRAFIA DURANTE
CORRIDA EM ESTEIRA.**

LUIZ HENRIQUE ORLANDO

INTERPRETAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR POR MEIO DA
ELETROMIOGRAFIA DURANTE CORRIDA EM ESTEIRA.

Orientador: Dr. Mauro Gonçalves

Co-orientador: Dra. Sarah Regina Dias da Silva

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

Rio Claro
2008

796.022 Orlando, Luiz Henrique

O71i Interpretação da fadiga muscular por meio da
eletromiografia durante corrida em esteira / Luiz Henrique
Orlando. - Rio Claro: [s.n.], 2008
35 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão (licenciatura – Educação Física)
– Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências
de Rio Claro

Orientador: Mauro Gonçalves

Co-orientador: Sarah Regina Dias da Silva

1. Cinesiologia. 2. Contração isométrica. 3. Biomecânica.
I. Título.

Dedicatória

Dedico esta nova etapa e conquista de minha vida
a meus pais (Luiz Paulo e Fátima Orlando),
a meu irmão (Renato Orlando) aos meus avós
(Antônio Orlando e Joana Orlando) e aos meus tios e tias.
Obrigado por estarem sempre presentes em minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus**, pois se não fosse Ele junto com minha força de vontade, dedicação e garra nada disso estaria acontecendo em minha vida. Por Ele ter me dado paciência para com os acontecimentos na universidade e em minha vida, por ter me dado persistência necessária para a realização de todos os projetos executados por mim e acima de tudo por ter me dado de presente, esses quatro anos de estudos maravilhosos e de pura diversão que foram aproveitados intensamente com muita alegria, curtição e responsabilidade.

Meus agradecimentos especiais ao meu orientador e amigo **Prof. Dr. Mauro Gonçalves** por ter me confiado e dado à oportunidade de ingressar no Laboratório de Biomecânica, onde junto com a minha co-orientadora **Profa. Dra. Sarah Regina Dias da Silva**, foram de suma importância para o meu crescimento intelectual, e que por resultado deste crescimento iniciamos este estudo que teve como resultado o meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Ao **Prof. Dr. Adalgiso Cardoso**, cuja contribuição foi importante para análise dos dados, pois junto com minha co-orientadora desenvolveu a rotina do Matlab onde pude processar meus resultados.

Meus agradecimentos mais do que especiais ao meu pai (**Luiz Paulo Orlando**) e a minha mãe (**Fátima Terezinha Palline Orlando**) por terem me dado o alicerce necessário para eu crescer como pessoa e ser - humano, me ensinado a nunca desanimar ou passar por cima de meus princípios e de qualquer pessoa para obtenção de sucesso. Ao meu irmão (**Renato Augusto Orlando**) mostrou-me que a universidade é a melhor fase de nossa vida e a que passa mais depressa que é preciso se dedicar, porém, se divertir o tempo todo. A meus avôs (**Antônio Orlando e Joana Orlando**) que sempre torceram por mim e me davam conselhos, muitas vezes, como forma de “puxão de orelha” para que eu nunca me abatesse mesmo quando a situação temporariamente não era favorável aos meus objetivos. A meus tios e tias que sempre torceram por mim e que direta ou indiretamente me fizeram ter o aprendizado inicial para seguir minha vida, agora profissional.

Não poderia esquecer aos meus amigos de laboratório a **Carina**, que colaborou em meu trabalho; a **Priscila**, a qual tenho um carinho muito especial; a **Patrícia Raquel**, que sem sombra de dúvida é a menina mais pirada que já conheci, porém com uma competência do tamanho de sua “loucura”; a **Nize**, que mesmo há pouco tempo no laboratório mostrou ser uma pessoa muito dedicada e

companheira; a **Fernanda**, que me ajudou na análise cinemática de meu projeto; a **Amália**, que também me ajudou na análise dos resultados; ao **Alex**, que apesar de ingressar na universidade este ano se mostrou interessado na vida científica; ao “**Mãozinha**”, que esta galgando seu sucesso e por ser um companheiro pra todas as horas; e por último, mas não sem prestígio e valor ao **Marcelo**, vulgo Marcelão ou gordo, que desde meu ingresso no laboratório esteve ao meu lado, ajudando no que eu precisava, muitas vezes explicando-me o porque das coisas serem daquela forma e por ser uma das pessoas que impõe-me a guardar e a levar as mais nítidas e boas lembranças para toda minha vida, você Marcelo de fato é um grande **AMIGO**.

Aos meus amigos de universidade que nestes quatro anos curtiram e aprontaram comigo, seja no dia-a-dia seja em baladas; ao **Teco**, que desde o primeiro ano me identifiquei e que me tornei amigo, aquele amigo de todas as horas, seja nas baladas, intercursos, viagens, “joselitagens”, pizzarias, seminários feitos com uma antecedência bem brasileira e dos estágios nas escolas; ao **Santos**, que assim como o Teco foi um parceiro de viagens, intercursos, baladas, “joselitagens” e aos famosos estágios nas escolas; ao **Anderson**, vulgo Caráguas, que foi uma pessoa que a principio bota medo pela sua forma de falar, porém que com o passar do tempo vai se mostrando uma pessoa terna e amiga; aos moradores e agregadas da **RepUTÕES, João Paulo, Honda, Mary e Joyce** a república onde vivi por um ano e meio e que tantas alegrias pude curtir, como o próprio slogan diz: “ONDE TUDO PODE ACONTECER” e a todos os integrantes da **AAA Ayrton Senna da Silva**, em especial ao **James, Lombardi, Lulu, Tôpo, Porp’s, Tiago e Pedrão**.

A todos que passaram por minha vida universitária e que foram direta ou indiretamente importantes, como por exemplo, ao time campeão por dois anos seguidos, do INTERUNESP, de futebol de campo, muito obrigado por vocês terem me proporcionado este estado saudosista, porém com a sensação e a convicção de dever cumprido em mais uma fase de minha vida, agora com muito mais responsabilidades e muito mais obrigações. Claro que não podia deixar de agradecer aos novos anos que chegavam, pois a cada ano novo, eram 365 dias esperando por 4 dias, o famoso e inesquecível **INTERUNESP**, afinal de contas como o próprio grito diz: “LOOOOCO, LOCO, LOCO, LOCO, LOCO EU SOU DA UNESP!!!”.

Por último, mas não menos importante e sim o mais marcante a minha turma, **LEF 05**, por todos esses quatro anos de alegria, brigas, companheirismo,

churrascos regado sempre a muita “loucura”, joselitagens, intercursos ganhos, sendo a turma com mais conquistas na UNESP – Rio Claro.

Deixo meus beijos e abraços sinceros a todos os lembrados por mim, assim como todos aqueles que se distanciaram neste longo caminho universitário percorrido por mim. As saudades são muitas, mas como a gente só sente saudade daquilo que foi muito bom, eu vou sentir sempre com um sorriso no rosto. Espero que todos obtenham sucesso em suas vidas pessoais, profissionais e que nos encontremos num futuro bem próximo. Que Deus seja sempre a nossa referencia de vida.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1.1. ELETROMIOGRAFIA	11
3. OBJETIVOS	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. VOLUNTÁRIOS	15
4.2. EQUIPAMENTOS	15
4.2.1. ELETROMIOGRAFIA.....	16
4.2.2. CINEMETRIA	16
4.3. TESTE INCREMENTAL DE CORRIDA NA ESTEIRA	16
4.4. ANÁLISE DO SINAL ELETROMIOGRÁFICO.....	17
4.5. FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	19
5. RESULTADOS	20
6. DISCUSSÃO	24
7. CONCLUSÃO.....	26
8. REFERÊNCIAS.....	27
ANEXO.....	32

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar a fadiga muscular por meio da amplitude e freqüência do sinal eletromiográfico (EMG) do músculo vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) do membro inferior direito, durante protocolo incremental de corrida em esteira e nas contrações isométricas submáximas realizadas no início e após cada velocidade. Participaram deste estudo 07 voluntários saudáveis, do gênero masculino, experientes em corrida na esteira, com idade média de 25 anos ($\pm 4,3$), sem antecedentes de doenças músculo-esqueléticas nos membros inferiores e de antropometria semelhante. Foram realizadas três contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM = 100%) de extensão do joelho para posterior determinação da contração submáxima de 50% da CIVM (CI-50%). O protocolo de corrida foi composto de um aquecimento de 5 minutos (9 km/h), e após iniciou-se o teste com velocidade inicial de 10 km/h e incremento de 1 km/h a cada 3 minutos, até a exaustão voluntária, havendo uma pausa entre cada velocidade de aproximadamente 2 minutos. Antes do início da corrida e após cada velocidade realizou-se uma contração isométrica com 50% da CIVM (CI-50%) de 5s de duração. No sinal eletromiográfico coletado durante a corrida, os valores de RMS (Root Mean Square) dos músculos VL e RF foram obtidos no período correspondente a um ciclo completo da passada a 10% e 100% do tempo analisado (120 segundos finais de cada velocidade) por meio de rotina específica (Matlab). No sinal eletromiográfico coletado durante as CI-50% (5s), os valores de RMS e FM (freqüência mediana) foram obtidos no período de 1s (intervalo de 1 a 2s). A normalidade dos dados foi determinada através do teste de Shapiro-Wilk. Utilizou-se teste-t de *Student* para amostras pareadas, e o nível de significância (p) adotado foi de $p < 0,05$. Os resultados do presente estudo demonstraram que o protocolo proposto de corrida, juntamente com a contração isométrica submáxima, não permitiu evidenciar mudanças significantes nos parâmetros de amplitude (RMS) e freqüência (FM) do sinal eletromiográfico características do desenvolvimento da fadiga muscular.

Palavras-chave: eletromiografia, corrida, contração isométrica, fadiga.

1. INTRODUÇÃO

A fadiga muscular apresenta-se como limitante no desempenho humano nas muitas atividades de vida diária, no trabalho e no esporte, podendo ser um dos fatores causadores de lesões em diversos níveis do sistema musculoesquelético, conduzindo assim diversos estudos (CARDOZO; GONÇALVES; GAUGLITZ, 2004; CARDOZO; GONÇALVES, 2003; GONÇALVES, 2000; OLIVEIRA et al., 2005; SILVA; GONÇALVES, 2003; SILVA et al., 2005) na busca de indicadores biomecânicos da capacidade de resistência física.

Durante contrações dinâmicas, tanto no esporte como no trabalho, as variáveis biomecânicas utilizadas para avaliação da fadiga muscular, em particular as mudanças nos parâmetros eletromiográficos têm se tornado um grande desafio (MASUDA et al., 1999), e cada vez mais estudos têm sido necessários para validar protocolos que possibilitem um diagnóstico mais preciso e que contribuam na prevenção de lesões por meio da análise deste fenômeno assim como no acompanhamento de sessões de treinamento ou reabilitação.

Como modelo de exercício dinâmico analisado no presente estudo, a corrida é uma atividade física amplamente realizada para manutenção da saúde ou para o treinamento e freqüentemente utilizada durante testes de capacidade física. Associada a esta prática está a ocorrência de lesões na coluna lombar, no quadril e predominantemente no membro inferior (SCHACHE et al., 2002). Na região lombar estas lesões são evidenciadas devido a cargas compressivas após o choque do calcâneo, pelos distúrbios nos padrões cinemáticos deste segmento vertebral e pelve durante a corrida assim como pelo desenvolvimento da fadiga muscular (NUMMELA et al. 1994; NIGG et al 2003).

A quantidade de investimentos científicos na busca de uma validação de metodologias biomecânicas, como o uso do sinal EMG, em contrações

dinâmicas para medição da fadiga muscular são escassos (POTVIN; BENT, 1997) e também controversos (CHRISTENSEN et al., 1995), o que torna o presente estudo ainda mais desafiador, uma vez que a maioria das atividades de vida diária, de trabalho e de esporte, como no caso da corrida.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os mecanismos da fadiga nos músculos humanos têm sido pesquisados há muito tempo (GIBSON; EDWARDS, 1985), porém a fadiga é pouco definida e entendida (MANNION; DOLAN, 1996), talvez pelo grande número de modelos de exercícios, protocolos e métodos aplicados no seu estudo, tornando assim difícil de comparar dados de um estudo para com o outro (VØLLESTAD, 1997). A fadiga é considerada como uma falha para manter um nível desejado de desempenho ou trabalho durante uma atividade repetitiva ou sustentada (MANNION; DOLAN, 1996) e de acordo com Jørgensen et al. (1988) é um processo dinâmico e tempo-dependente desenvolvido no sistema neuromuscular.

Particularmente durante a corrida, vários fatores podem influenciar o seu padrão como a velocidade (HANON et al., 2005) e o tipo do calçado (NIGG et al., 2003; WAKELING et al., 2003) porém alguns deles ainda permanecem não entendidos totalmente, como a fadiga muscular (AVOGRADO et al., 2003; HANON et al., 2005; NUMMELA et al., 1994), fenômeno este que será mais especificamente abordado na presente revisão de literatura.

2.1.1. ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia apresenta-se como um dos poucos métodos de avaliação não invasiva (BIJKER et al., 2002), particularmente das alterações de amplitude e do espectro de potência da atividade elétrica dos músculos superficiais (VØLLESTAD, 1997), as quais são caracterizadas por um aumento progressivo da amplitude do eletromiograma e diminuição das frequências do espectro (CHRISTENSEN et al., 1995; RAVIER et al., 2005).

Cardozo, Gonçalves e Gauglitz (2004); Cardozo e Gonçalves (2003); Oliveira et al. (2005) e Silva e Gonçalves (2003) encontram evidências do aumento da atividade elétrica do tecido muscular em função do tempo quando o músculo é exercitado em uma carga constante até a fadiga, tanto em exercícios isométricos como dinâmicos. Este aumento gradual no nível médio do eletromiograma de interferência registrado por eletrodos de superfície, ocorre principalmente pelo recrutamento de novas unidades motoras (WAKELING et al., 2001), as quais compensam a diminuição na contribuição das unidades motoras fadigadas na força muscular total.

Desde o início da década de 60, tem sido sugerida a análise dos vários componentes da frequência do sinal eletromiográfico, obtido durante contrações isométricas e dinâmicas, como um indicador da fadiga desenvolvida no músculo (PETROFSKY; LIND, 1980); e a mudança tempo-dependente do conteúdo espectral do sinal eletromiográfico em direção às baixas frequências tem sido uma ferramenta útil para avaliar a fadiga muscular localizada (BONATO et al., 2001), indicando a ocorrência de mudança na velocidade de condução do potencial de ação ao longo das fibras musculares ativas. A velocidade de condução do potencial de ação está diretamente relacionada com as frequências média e mediana do espectro de densidade de potência (HÄGG, 1992), sendo a frequência mediana o parâmetro preferido por ser menos sensível a ruídos (STULEN; DE LUCA, 1981).

O entendimento da ação muscular durante cada uma das fases da corrida tem trazido importantes determinações para a interpretação biomecânica. Estudos têm analisado diversos músculos nas fases específicas da corrida e correlacionados com variáveis cinéticas e cinemáticas (KYRÖLÄINEN; KOMI; BELLI, 1999). Nestes estudos, a atividade muscular tem sido concentrada nos membros inferiores (HANON et al., 2005; HANON et al., 1998; WAKELING et al., 2001).

Com esta já estabelecida a relação entre a ação muscular em cada uma das fases da corrida (KYRÖLÄINEN; KOMI; BELLI, 1999), outras informações podem ser obtidas na direção da validação de protocolos que permitam avaliar o comportamento destes músculos em função do tempo e velocidade de corridas, variáveis estas normalmente combinadas durante testes ou mesmo competições e que podem apresentar modificações pelo desenvolvimento da fadiga muscular.

A identificação da fadiga muscular pela análise eletromiográfica tem sido relatada em protocolos que utilizam contrações isométricas (KAY et al., 2000; SILVA et al., 2005) e contrações dinâmicas (OLIVEIRA et al., 2005; MASUDA et al., 1999), nas quais se evidencia este fenômeno pela diminuição da frequência mediana e aumento da amplitude do sinal eletromiográfico (MASUDA et al. 1999).

Para verificar o efeito da fadiga no sinal EMG em um protocolo incremental de corrida, a aplicação de um esforço isométrico de mesma intensidade entre cada estágio de corrida foi utilizado por Hanon et al. (1998) caracterizando o início da fadiga neuromuscular pelo aumento da amplitude do sinal. Neste experimento, foram obtidos os limiares EMG durante a corrida na velocidade de 16Km/h, nas contrações isométricas em 18Km/h, pela escala de Borg em 18Km/h, pelos parâmetros ventilatórios a 16Km/h e pelo lactato sanguíneo (limiar de lactato: a 14Km/h; limiar anaeróbio a 15,71Km/h), indicando a ocorrência da fadiga muscular por todas variáveis analisadas, e que a análise de mudanças no sinal EMG obtido durante a corrida e contração isométrica se completam.

Diante da hipótese de que o sinal EMG mudaria quantitativamente no limiar anaeróbio (LAN) durante teste incremental, pelo fato do sinal EMG refletir o número total de fibras musculares ativadas, e no teste incremental as fibras do tipo II devem ser recrutadas, estudos foram realizados em cicloergômetros, sendo verificado que os músculos respondem de maneira diferente entre si frente à mesma sobrecarga (HOUSH et al., 1995), nem sempre apresentando o mesmo comportamento do limiar anaeróbio (MIYASHITA et al., 1981).

Quando a análise biomecânica da fadiga muscular foi analisada durante a corrida a 20m submáximo, 20m máximo e 400m em pista equipada com plataforma de força, Nummela et al. (1994) verificaram que houve maiores valores de FRS nas corridas de 20m, a atividade EMG apresentou-se diferente entre os testes, e o comprimento da passada foi menor na corrida de 400m. Neste estudo verificou-se que a ativação neural ocorre para compensar a fadiga muscular, e que este

processo apresenta-se diferente para cada músculo, indicando assim a análise de mais músculos em futuros estudos na busca de compreender os mecanismos envolvidos na manutenção do exercício diante do processo de fadiga.

3. OBJETIVOS

Geral:

Analisar o sinal eletromiográfico durante teste incremental de corrida em esteira.

Específicos:

- Analisar parâmetros de amplitude (Root Mean Square – RMS) dos registros eletromiográficos dos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) durante cada velocidade do teste incremental de corrida.
- Analisar parâmetros de amplitude (RMS) e frequência (Frequência Mediana – FM) dos registros eletromiográficos dos músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) durante as contrações isométricas submáximas realizadas no início e após cada velocidade do teste incremental de corrida.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Voluntários

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa local, e para sua realização participaram 7 voluntários saudáveis do sexo masculino, com idade de $25,0 \pm 4,3$ anos, altura de $1,8 \pm 0,1$ m e massa corporal de $69,9 \pm 13,5$ kg, todos eram corredores experientes em corrida na esteira, sem antecedentes de doenças músculo-esqueléticas nos membros inferiores e de antropometria semelhante.

Os voluntários foram convidados a participar do estudo, assinaram um termo de consentimento e foram orientados sobre as atividades realizadas durante o experimento.

4.2. Equipamentos

O protocolo incremental de corrida foi realizado em uma esteira ergométrica, a frequência cardíaca (FC) foi mensurada diretamente por meio de um freqüencímetro (modelo S120, marca Polar, X-Trainer Plus, Kempele - Finland), e o sinal eletromiográfico foi captado pelo sistema Telemetry 900 (Noraxon) e *software* Myoresearch (Noraxon). Para realização das contrações isométricas foi utilizada uma cadeira específica e célula de carga com capacidade de 200Kgf (EMG System do Brasil).

4.2.1. Eletromiografia

Os sinais eletromiográficos foram registrados por eletrodos de superfície bipolares descartáveis de Ag/AgCl (MediTrace[®]), com área de captação de 1 cm de diâmetro. Os eletrodos foram colocados sobre os músculos reto femoral (RF) e vasto lateral (VL) do membro inferior direito, de acordo com SENIAM (HERMENS et al., 1999) com distância entre os eletrodos de 2cm. O músculo vasto medial (VM), proposto para análise no projeto deste estudo, não foi analisado devido à falta de dados suficientes para a análise estatística.

Para diminuir possíveis interferências na aquisição do sinal EMG, foi realizado tricotomia e limpeza da pele com lixa fina e álcool nos locais determinados em cada músculo para colocação dos eletrodos; e foi colocado um fio terra sobre a diáfise da tíbia direita. Para a aquisição dos registros eletromiográficos foi utilizada frequência de amostragem de 1000Hz, ganho de 2000 vezes (20 vezes no pré-amplificador e 100 vezes no condicionador de sinais), filtro de passa alta de 20Hz e filtro de passa baixa de 500Hz.

4.2.2. Cinemetria

Para captação da imagem foi utilizada uma filmadora digital (modelo: NV-GS320, marca: PANASONIC), e posteriormente as imagens foram analisadas para obtenção dos tempos correspondentes a um ciclo completo da passada no início (10%) e no final (100%) dos 120 segundos finais de cada velocidade.

4.3. Teste incremental de corrida na esteira

No dia anterior ao início das coletas, os voluntários foram familiarizados ao movimento de correr na esteira, ao ambiente de coleta e com a contração isométrica de extensão de joelho. O voluntário correu três minutos em três velocidades diferentes (10, 11 e 12 km/h), totalizando 9 minutos de familiarização (LAVCANSKA; TAYLOR; SCHACHE, 2005).

Durante a familiarização foram realizadas três contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM = 100%) de extensão de joelho, com

duração de cinco segundos e intervalo de três minutos entre elas e treinamento para realizar a contração submáxima, na qual o voluntário precisou manter uma contração com 50% do valor obtido na CVM durante cinco segundos.

O protocolo de corrida foi composto de um aquecimento de 5 minutos, e após foi realizado o teste com velocidade inicial de 10 km/h e incremento de 1 km/h a cada 3 minutos até a exaustão voluntária, definida como o momento quando o voluntário não foi capaz de manter a velocidade determinada. A inclinação da esteira foi mantida fixa em 1%, já que esta condição reflete mais precisamente o custo energético da corrida em ambientes abertos (JONES; DOUST, 1996).

Para analisar o efeito na fadiga nos parâmetros espectrais do sinal EMG os voluntários realizaram inicialmente uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) para posterior determinação de um valor submáximo de 50% em relação a CIVM; após três minutos de repouso foi realizada uma contração isométrica com 50% da CIVM (CI-50%) da extensão do joelho por cinco segundos e o mesmo foi considerado como valor de repouso. Em seguida, iniciou-se o protocolo de corrida, e a contração submáxima foi repetida ao final de cada estágio (pausa de aproximadamente 2 minutos).

No dia de realização de cada teste, a frequência cardíaca foi aferida no início e no final de cada estágio (velocidade), devido sua variação se relacionar com o aumento da intensidade do exercício e com as mudanças metabólicas decorrentes do mesmo. O sinal EMG foi coletado durante todo o período de cada estágio.

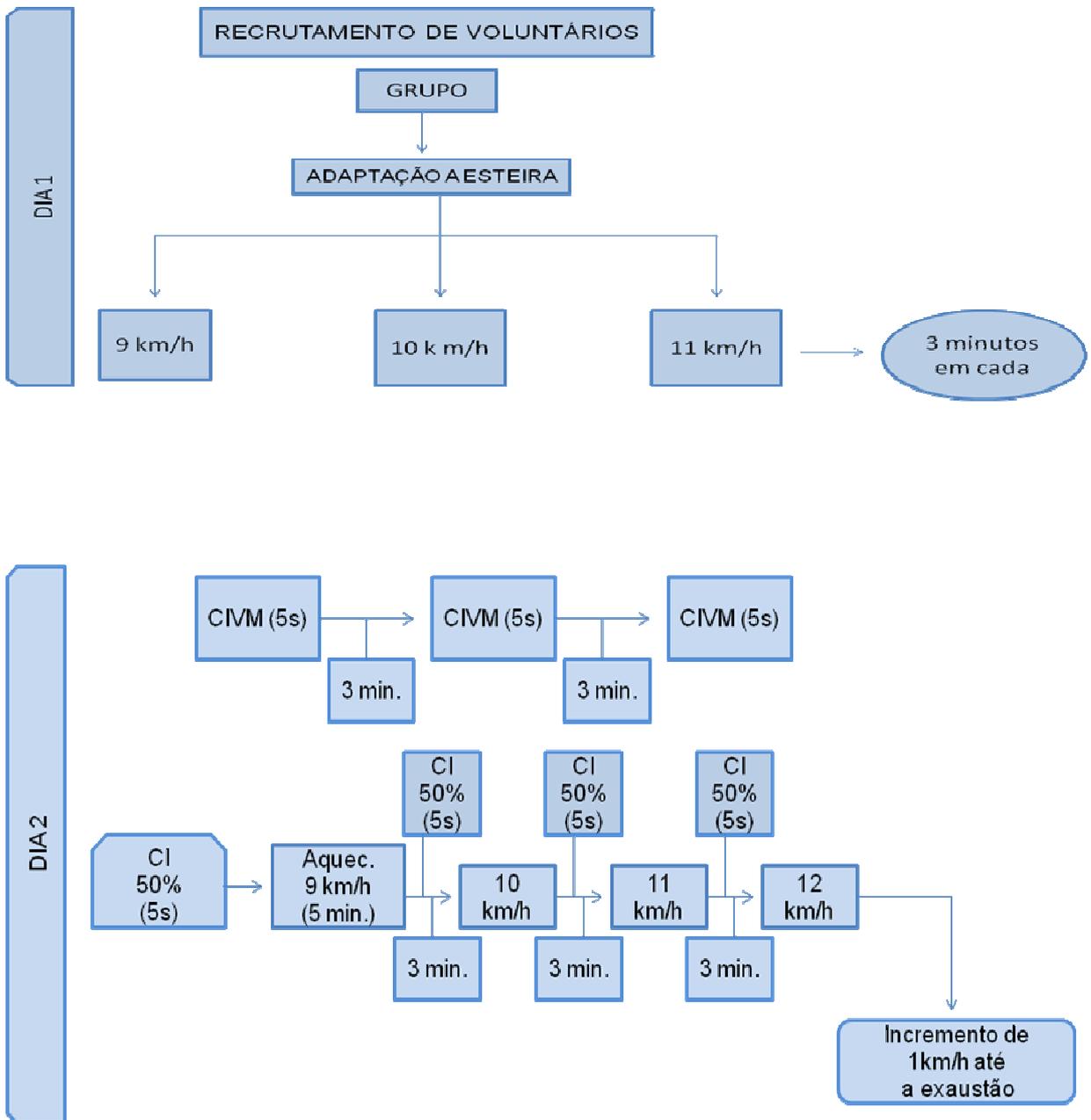
4.4. Análise do sinal eletromiográfico

No sinal eletromiográfico coletado durante a corrida, os valores de RMS dos músculos RF e VL foram obtidos no período correspondente a um ciclo completo da passada do início (10%) e do final (100%) dos 120 segundos finais de cada velocidade por meio de rotina específica desenvolvida em ambiente Matlab. Estes dados foram comparados para verificar em qual velocidade ocorreria diferença significativa entre os valores dos 10% e 100% do tempo de análise para possível determinação de um índice de fadiga.

No sinal eletromiográfico coletado durante as CI-50%, os valores de RMS e FM foram obtidos no período de 1s (intervalo de 1 a 2s).

A análise estatística desse estudo foi realizado no software BioEstat 2.0. A normalidade dos dados foi determinada através do teste de Shapiro-Wilk. Utilizou-se teste-t de Student para amostras pareadas, e o nível de significância (p) adotado foi de $p < 0,05$.

4.5. FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS



5. RESULTADOS

Tabela 1 – Valores individuais de velocidade máxima (V_{máx}) e frequência cardíaca (FC) obtidas durante teste incremental de corrida.

Voluntário	V_{máx}	FC_{máx}
1	19	194
2	19	188
3	17	194
4	16	189
5	19	221
6	17	198
7	17	193

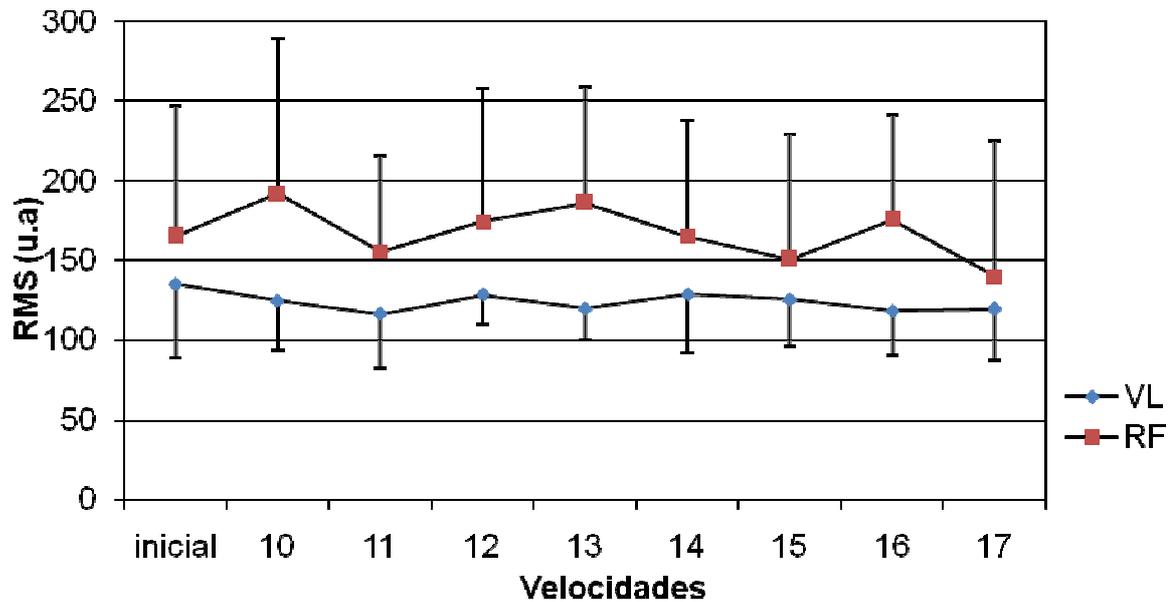


Gráfico 1 – Valores médios e desvios padrão de RMS dos músculos VL (n = 7) e RF (n = 5) obtidos durante a contração isométrica submáxima (CI-50%) realizada no início e após cada velocidade do teste incremental de corrida.

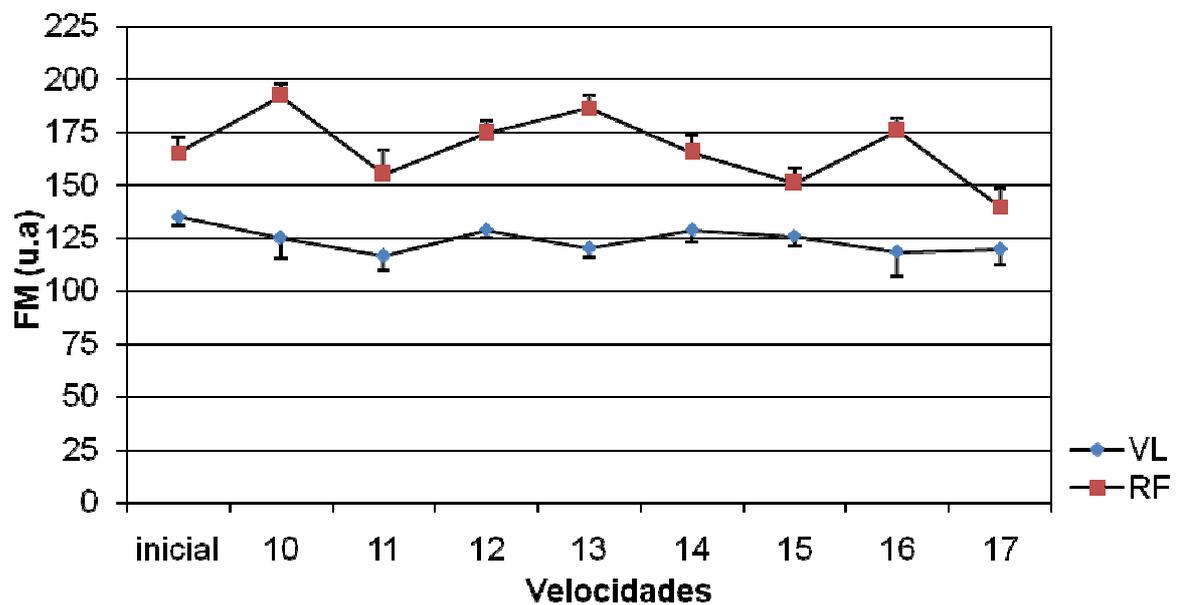


Gráfico 2 – Valores médios e desvios padrão de FM dos músculos VL (n = 7) e RF (n = 5) obtidos durante a contração isométrica submáxima (CI-50%) realizada no início e após cada velocidade do teste incremental de corrida.

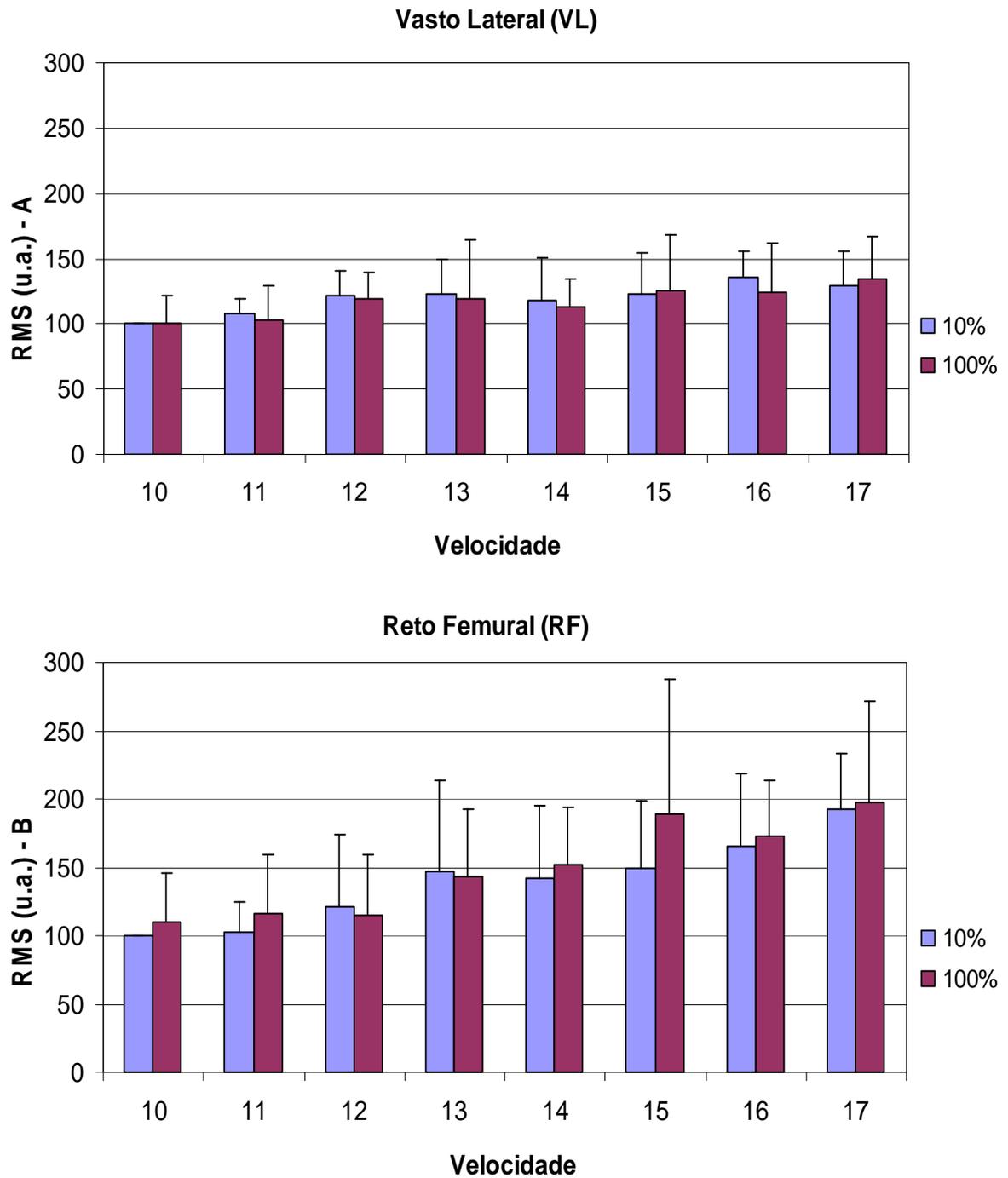


Gráfico 3 – Valores médios e desvios padrão de RMS do músculo VL (A) e RF (B) obtidos em um ciclo de passada aos 10% e aos 100% do tempo (120s finais) de cada velocidade do teste incremental de corrida.

A tabela 1 apresenta os valores individuais de velocidade máxima ($V_{\text{máx}}$) e frequência cardíaca (FC) obtidas durante teste incremental de corrida, desta forma podendo ser comparada os dois parâmetros.

Os valores de média e desvio padrão de RMS e FM dos músculos VL e RF obtidos durante as CI-50% estão apresentados nos gráficos 1 e 2, respectivamente. Verifica-se que não houve diferença significativa na análise de RMS e da FM das CI-50%.

O gráfico 3 (A e B) apresenta a média e o desvio padrão de RMS obtidos durante cada velocidade do teste incremental de corrida para os músculo VL e RF, verifica-se que não houve diferença significativa entre os valores de RMS a 10% e 100% do tempo de cada velocidade do teste incremental de corrida na esteira.

6. DISCUSSÃO

Diante da verificação na literatura de que contrações isométricas têm servido como padrão para quantificação da fadiga baseado no sinal EMG, assim como de que a fadiga também pode causar mudanças no sinal EMG medido durante contrações dinâmicas, o presente estudo foi realizado utilizando-se de contrações dinâmicas provenientes do complexo movimento da corrida assim como de contrações isométricas submáximas na busca da identificação do fenômeno da fadiga muscular.

O aumento dos componentes de baixa frequência imediatamente após a realização de exercício fadigante foi demonstrada na literatura devido a maior concentração dos níveis de lactato no músculo, pela redução da capacidade de remoção (SO et al., 2007), aumentando o pH intersticial (MANNION; DOLAN, 1996), resultando em diminuição da velocidade de condução da fibra muscular, indicando assim o desenvolvimento do processo de fadiga (KOMI; TESCH, 1979; LARIVIERE et al., 2001). Entretanto, no presente estudo, o comportamento semelhante dos valores de RMS e FM durante as contrações isométricas submáximas (CI-50%) analisadas após cada velocidade em relação à condição de repouso demonstra que o protocolo proposto não permitiu a identificação da fadiga muscular como relatado na literatura, onde um aumento da amplitude do RMS e uma diminuição na frequência mediana da potência do sinal EMG são indicadores do desenvolvimento da fadiga muscular, sendo este resultado contrário ao descrito por Hanon et al. (1998).

Os voluntários deste estudo atingiram velocidade e frequência cardíaca máxima características para protocolo de exaustão, e embora as mudanças metabólicas decorrentes do protocolo não tenham sido analisadas, verifica-se que as mesmas não interferiram no sinal EMG. Conforme relatado por Christensen et al.

(1995) quando as variáveis RMS e FM são analisadas durante contração dinâmica a interpretação das mesmas tem sido questionada pelas mudanças no comprimento e força muscular.

Como relatado por Gonçalves (2000) a relação entre a eletromiografia e a tensão muscular continua a ser objeto de muitas pesquisas, e geralmente é aceito que existe uma relação direta entre a atividade eletromiográfica e o esforço muscular, mas esta relação precisa ser discutida em termos de comprimento muscular e do tipo de contração. O grau de linearidade ou de não linearidade parece variar com o músculo testado, com a posição articular, o comprimento muscular, com o posicionamento dos eletrodos, a concentração de carga, o tipo de fibra muscular, o método de mensuração da força, a velocidade de condução das unidades motoras e com o número de unidades motoras recrutadas.

Alguns biomecânicos dizem que as adaptações à fadiga podem resultar em alterações para uma determinada atividade muscular (HANON et al., 2005). Se a frequência não sofre alterações durante a fadiga, então os sinergistas podem ser responsáveis pela força que está sendo gerada.

Os resultados de manutenção dos valores de RMS durante o início (10%) e final (100%) de cada estágio de corrida do protocolo analisado indica que houve estabilidade nos padrões do movimento em cada velocidade, resultado esse que concorda com os encontrados por Silva (2007) e Fraga et al. (2008) durante protocolo de corrida em velocidade constante realizado até a exaustão ou no máximo 1h, assim como com os estudos de Avogadro, Dolenc, Belli (2003) e Place et al. (2004) nos quais os voluntários correram em intensidade correspondente a 90% (± 3) da capacidade aeróbia máxima até exaustão (aproximadamente 14 minutos) e a 55% da velocidade máxima por um período de 5 horas, respectivamente.

7. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que o protocolo proposto de corrida, juntamente com a contração isométrica submáxima, não permitiu evidenciar mudanças significantes nos parâmetros de amplitude (RMS) e frequência (FM) do sinal eletromiográfico características do desenvolvimento da fadiga muscular. Sugere-se que mais estudos sejam realizados com diferentes intervalos de repouso entre as velocidades para verificação da influência do mesmo na recuperação dos parâmetros eletromiográficos

8. REFERÊNCIAS

- AVOGRADO, P.; DELENEC, A.; BELLI, A. Changes in mechanical work during severe exhausting running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 90, p. 165-170. 2003.
- AVOGRADO, P.; DOLENEC, A.; BELLI, A. Changes in mechanical work during severe exhausting running. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 90, p. 165-170, 2003.
- BIJKER, K.E.; GROOT, G.; HOLLANDER, A.P. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. **Eur J Appl Physiol.**, v. 87, p. 556–561, 2002.
- CARDOZO, A. C., GONÇALVES, M. Electromyographic fatigue threshold of erector spinae muscle induced by a muscular endurance test in health men. **Electromyography and Clinical Neurophysiology**, v.43, n.6, p.377 - 380, 2003.
- CARDOZO, A.C.; GONÇALVES, M.; GAUGLITZ, A.C.F. Spectral analysis of the electromyography of the erector spinae muscle before and after a dynamic manual load-lifting test. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 37, p. 1081-1085, 2004.
- CAVANAGH, P.R.; KRAM, R. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 21, n. 4, p. 467-479, 1989.
- CHAPAMAN, A. R.; VICENZINO, B.; BLANCH, P.; DOWLAN, S.; HODGES, P. W. Does cycling effect motor coordination of the leg during running in elite triathletes? **Med Sci Sports Exerc.** V. 11, p. 371-80, 2008.
- CHRISTENSEN, H.; SØGAARD, K.; JENSEN, B.R.; FINSEN, L.; SJØGAARD, G. Intramuscular and surface EMG power spectrum from dynamic and static contractions. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 27-36, 1995.
- CRISTEA, A.; KORHONEN, M. T.; HAKKINEN, K; MERO, A.; ALLEN, M.; SIPILA, S.; VIITASALO, J. T.; KOLJONEN, M. J.; SUOMINEN, H.; LARSSON, L. Effects of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre levels in elite master sprinters. **Acta Physiol**, p. 275-89, 2008.
- FRAGA, C.H.W. et al. Análise EMG e cinemática em diferentes intervalos de corrida realizada na intensidade do limiar de fadiga eletromiográfico. XII Congresso do Desporto e Educação Física dos Países de Língua Portuguesa. **Anais.** 2008.

FRONTERA, W. R.; HUGHES, V. A.; FIELDING, R. A.; FIATARONE, M. A.; EVANS, W. J.; ROUBENOFF, R. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. **J Appl Physiol** 88, 1321–1326, 2000.

FRONTERA, W. R.; MEREDITH, C. N.; O'REILLY, K. P.; KNUTTGEN, H. G.; EVANS, W. J. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. **J Appl Physiol** 64, 1038–1044, 1988.

GIBSON, H.; EDWARDS, R.H.T. Muscular exercise and fatigue. **Sports Med.**, Auckland, v. 2, n. 2, p. 120-132, 1985.

GONÇALVES, M. Limiar de fadiga eletromiográfica. In: DENADAI, B.S. **Avaliação aeróbia**: determinação indireta da resposta do lactato sanguíneo. Rio Claro: Motrix, 2000. Cap. 7. p. 129-154.

HÄGG, G.M. Interpretation of EMG spectral alterations and alteration indexes at sustained contraction. **J. Appl. Physiol.**, v. 73, p. 1211-217, 1992.

HAKKINEN, K.; KRAEMER, W. J.; PAKARINEN, A.; TRIPLETT-MCBRIDE, T.; MCBRIDE, J. M.; HAKKINEN, A.; ALEN, M.; MCGUIGAN, M. R.; BRONKS, R.; NEWTON, R. U. Effects of heavy resistance/power training on maximal strength, muscle morphology, and hormonal response patterns in 60-75-yearold men and women. **Can J Appl Physiol** 27, 213–231, 2002.

HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; HAUSSWIRTH, C.; LE CHEVALIER, J.M. Electromyogram as an indicator of neuromuscular fatigue during incremental exercise. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, v. 78, p. 315-323, 1998.

HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; VANDEWALLE, H. Determination of muscular fatigue in elite runners. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 94, p. 118-125, 2005.

HERMENS, H.J.; FRERIKS, B.; MERLETTI, R.; HÄGG, G.; STEGEMAN, D.; BLOK, J. et al. editors. **SENIAM 8**: European recommendations for surface electromyography. **Roessingh Research and Development**, 1999.

HOUSH, T.J.; de VRIES, H.A.; JOHNSON, G.O.; HOUSH, D.J.; EVANS, S.A.; STOUT, J.R.; EVETOVICH, T.K.; BRADWAY, R.M. Electromyographic fatigue thresholds of the superficial muscles of the quadriceps femoris. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, Berlin, v. 71, n. 2/3, p. 131-136, 1995.

HUG, F.; LAPLAUD, D.; LUCIA, A.; GRELOT, L. EMG threshold determination in eight lower limb muscles during cycling exercise: a pilot study. **Int. J Sports Med.**, v. 27, p. 456-62, 2006.

JONES, A.M., DOUST, J.H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **J Sport Sci.**, v.14, p.321-327, 1996.

JØRGENSEN, K.; FALLENTIN, N.; KROGH-LUND, C.; JENSEN, B. Electromyography and fatigue during prolonged, low-level static contractions. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 316-321, 1988.

KAY, D.; St CLAIR GIBSON, A.; MITCHELL, M.J.; LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D. Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, Oxford, v. 10, n. 6, p. 425-431, 2000.

KOMI, P.V.; TESCH, P. EMG frequency spectrum muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, v. 52, n.2, p. 202-206, 1984.

KYRÖLÄINEN, H.; KOMI, P.V.; BELLI, A. Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed. **Journal of strength and conditioning research**, 13(4):400-406,1999.

LAVCANSKA, V.; TAYLOR, N.F.; SCHACHE, A.G. Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. **Human Movement and Science**, v. 24, p.544-557, 2005.

LARSSON, L. Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. **Med Sci Sports Exerc** 14, 203–206, 1982.

LERIVIERE, C.; ARSENAULT, A.B; GRAVEL, D.; GAGNON, D.; LOISEL, P. Median frequency of the electromyographic signal: effect of time window location on brief step contractions. **J. Electromyogr. Kinesiol.** V. 11, p. 65-71, 2001.

MANNION, A.F.; DOLAN, P. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, Berlin, v. 74, n. 5, p. 411-419, 1996.

MASUDA, K.; MASUDA, T.; SADOYAMA, T.; INAKI, M.; KATSUTA, S. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 39-46, 1999.

MIYASHITA, M.; KANEHISA, H.; NEMOTO, I. EMG related to anaerobic threshold. **J. Sports Med. Phys. Fit.**, v. 21, n. 3, p. 209-217, 1981.

NIGG, B.M.; STEFANYSHYN, D.; COLE, G.; STERGIOU, P.; MILLER, J. The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. **Journal of Biomechanics**, 36:569-575, 2003.

NUMMELA, A.; RUSKO, H.; MERO, A. EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 26, n. 5., p. 605-609, 1994.

OLIVEIRA, A.S.C.; GONÇALVES, M.; CARDOZO, A.C.; BARBOSA, F.S.S. Electromyographic fatigue threshold of the biceps brachii muscle during dynamic contraction. **Electromyogr. Clin. Neurophysiol.**, v. 45, p. 167-175, 2005.

PETROFSKY, J.S.; LIND, A. Frequency analysis of the surface electromyogram during sustained isometric contractions. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 173-182, 1980.

PLACE, N. et al. Time Course of Neuromuscular Alterations during a Prolonged Running Exercise. *Exercise. Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 36, No. 8, pp. 1347–1356, 2004.

POTVIN, J.R.; BENT, L.R. A validation of techniques using surface EMG signals from dynamic contractions to quantify muscle fatigue during repetitive tasks. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, Oxford, v. 7, n. 2, p.131-139. 1997.

RAVIER, P.; BUTTELLI, O.; JENNANE, R.; COURATIER, P. An EMG fractal indicator having different sensitivities to changes in force and muscle fatigue during voluntary static muscle contractions. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, v. 15, p. 210–21, 2005.

SCHACHE, A.G.; BLANCH, P.; RATH, D.; WRIGLEY, T.; BENNELL, K. Three-dimensional angular kinematics of the lumbar spine and pelvis during running. **Human Movement Science**, v. 21, p. 273–293, 2002.

SILVA, S.R.D. Fadiga muscular: análise de variáveis biomecânica e metabólica. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, **Universidade Estadual Paulista**, 2007.

SILVA, S.R.D., GONÇALVES, M. Análise da fadiga muscular pela amplitude do sinal eletromiográfico. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, v.11, n.3, p.15 - 20, 2003.

SILVA, S.R.D.; GONÇALVES, M.; AMADIO, A.C.; SERRÃO, J.C. Electromyographic interpretation of vastus medialis and vastus lateralis muscles fatigue in isometric contraction tests. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 10, n. 6, p. 35-40, 2005.

SO, R.C.H, NG, J.K.F, NG, G.Y.F. Effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation on fatigue recovery of the quadriceps. **Eur J Appl Physiol**. V. 100, p. 693-700, 2007.

STULEN, F.B.; DE LUCA, C.J. Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction-velocity. **IEEE Trans. Biom. Eng.**, v. 28 , n. 7, p. 515-523, 1981.

TRAPPE, S.; WILLIAMSON, D.; GODARD, M.; PORTER, D.; ROWDEN, G.; COSTILL, D. Effect of resistance training on single muscle fiber contractile function in older men. *J Appl Physiol* 89, 143–152, 2000.

VØLLESTAD, N.K. Measurement of human muscle fatigue. **J. Neurosci. Methods**, Amsterdam, v. 74, n. 2, p. 219-227, Jun 1997.

VERKERKE, G.J.; AMENT, W.; WIERENGA, R.; RAKHORST, G. Measuring changes in step parameters during an exhausting running exercise. **Gait and Posture**, v. 8, p. 37–42, 1998.

WAKELING, J.M.; LIPHARDT, A.-M.; NIGG, B.M. Muscle activity reduces soft-tissue resonance at heel-strike during walking. **Journal of Biomechanics**, v. 36, p. 1761–1769, 2003.

WAKELING, J.M.; PASCUAL, S.A.; NIGG, B.M.; TSCHARNER, V.von Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained sub-maximal exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.**, 86, p 40-47, 2001.

YANG, J.F.; LAMONT, E.V.; PANG, M. Y. C. Split-Belt treadmill stepping in infants suggests autonomous pattern generators for the left and right leg in humans. **The Journal of Neuroscience**. July, v. 25, p. 6869-76, 2005.

ANEXO**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Você está sendo convidado a participar de um estudo sobre o desempenho da corrida, o qual pretende verificar o comportamento de variáveis biomecânicas (como atividade muscular e padrão de movimento) e fisiológicas (como intensidade metabólica). Neste sentido, pedimos que você leia este documento e esclareça suas dúvidas antes de consentir, com sua assinatura, sua participação neste estudo.

Objetivo do Estudo:

Analisar variáveis eletromiográficas, cinemáticas e metabólicas e correlacioná-las entre si, nas fases de contato e aérea em função do tempo, para identificação da fadiga muscular durante teste incremental de corrida em esteira.

Procedimentos:

➤ Na primeira visita ao laboratório, serão realizados os seguintes procedimentos: (1) medidas para avaliação da composição corporal (massa, estatura e dobras cutâneas); (2) familiarização com a corrida na esteira (9 minutos), na qual será realizada uma corrida de cinco minutos na velocidade de 10 km/h, cinco minutos em 11 km/h e cinco minutos em 12 km/h, em uma esteira com inclinação de 1%.

- As próximas três visitas consistirão de um teste incremental em esteira com inclinação de 1%, iniciando com velocidade de 12 km/h, com incrementos de 1 km/h a cada três minutos até exaustão voluntária. Serão coletados os sinais eletromiográficos que permitirão verificar a atividade muscular de 3 músculos (região das pernas) e os sinais cinemáticos que, por meio de filmagens, possibilitarão identificar o padrão de passada. Haverá algumas diferenças durante a realização de cada um dos três testes incrementais: (1) essa avaliação se constituirá exatamente do procedimento descrito anteriormente, sem qualquer mudança; (2) avaliação realizada de forma idêntica a anterior, acrescida de coleta de 25 µl de sangue retirado do lóbulo da orelha, realizada a cada três minutos de corrida (para tanto será realizada pequena incisão com uma lâmina especial descartável); (3) será realizada, primeiramente, determinação da força máxima em exercício de extensão de joelhos (partindo-se da posição sentada, deverá ser realizado esforço máximo contra resistência, mantendo a máxima força possível por cinco segundos), seguido de avaliação idêntica ao teste (2), acrescentando-se, teste de extensão de joelho submáximo, realizado logo após a coleta da amostra de sangue, no qual deverá ser realizada uma contração de cinco segundos com uma intensidade de 50% do seu máximo.
- A ordem de realização de cada uma das três avaliações descritas anteriormente será sorteada na primeira visita ao laboratório, sendo essas realizadas com o intervalo mínimo de 48 horas entre elas.

Riscos e Benefícios do Estudo:

Primeiro: Nenhuma das etapas da avaliação oferece nenhum risco grave à sua saúde, tão pouco o expõe a situações constrangedoras. Os possíveis riscos ao voluntário são dores musculares localizadas que, em geral, são resolvidas rapidamente.

Segundo: Os treinadores, técnicos, atletas e demais avaliados receberão um relatório com todos os testes realizados – biomecânicos (composição corporal, atividade muscular e padrão de passada) e fisiológicos (limiar de lactato). Esses relatórios serão fornecidos tão rápido os dados sejam processados, na tentativa de que os mesmos contribuam efetivamente na avaliação de desempenho de atletas e demais avaliados.

Terceiro: Este estudo almeja contribuir no entendimento científico dos aspectos biomecânicos e fisiológicos da corrida.

Confidencialidade:

Ficará resguardado ao pesquisador responsável e protegidas de revelação não autorizada o uso das informações recolhidas.

Voluntariedade:

A recusa do indivíduo em participar do estudo será sempre respeitada, possibilitando que seja interrompido a rotina de avaliações a qualquer momento, a critério do indivíduo participante.

Novas informações:

A qualquer momento os indivíduos e os treinadores e/ou técnicos poderão requisitar informações esclarecedoras sobre o estudo, por meio de contato com os pesquisadores.

Os treinadores e/ou técnicos poderão acompanhar a realização das avaliações, se assim preferirem.

Contatos e Questões:

Profa. Dr^{nda}. Carina Helena Wasem Fraga.

Profa. Ms^{nda} Priscila Brito Silva.

Profa. Dra. Sarah Regina Dias da Silva.

Luiz Henrique Orlando

Responsável: Prof. Dr. Mauro Gonçalves.

Telefones: (19) 35264308. Celular: (19) 81259306 (Carina) ou (19) 96765254 (Priscila).

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Programa de Pós Graduação em Ciências da Motricidade.

Av. 24-A, nº1515. Laboratório de Biomecânica. Rio Claro. São Paulo.

DECLARAÇÃO

Eu _____, portador de RG número _____, tendo lido as informações oferecidas anteriormente, e tendo sido esclarecido das questões referentes ao estudo, concordo em participar livremente do presente estudo.

Rio Claro, ____ de _____ de 2006.

Participante

Prof. Dr. Mauro Gonçalves