

Filipe Antônio de Barros Sousa

**“MENSURAÇÃO DA POTÊNCIA MECÂNICA EM ESFORÇOS DE ALTA
INTENSIDADE NA CONDIÇÃO LABORATORIAL DE CORRIDA ATADA E NA
CONDIÇÃO DE CAMPO EM CORRIDA SEMI-ATADA E LIVRE”**

***“MECHANICAL POWER MEASUREMENTS IN LABORATORY DURING
TETHERED RUN SPRINTS AND IN THE FIELD DURING SEMI-TETHERED RUN
AND FREE RUNNING SPRINTS”***

Campinas
2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Filipe Antônio de Barros Sousa

**“MENSURAÇÃO DA POTÊNCIA MECÂNICA EM ESFORÇOS DE ALTA
INTENSIDADE NA CONDIÇÃO LABORATORIAL DE CORRIDA ATADA E NA
CONDIÇÃO DE CAMPO EM CORRIDA SEMI-ATADA E LIVRE”**

Orientador: Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto

***“MECHANICAL POWER MEASUREMENTS IN LABORATORY DURING TETHERED
RUN SPRINTS AND IN THE FIELD DURING SEMI-TETHERED RUN AND FREE
RUNNING SPRINTS”***

Dissertação de Mestrado apresentada à PósGraduação da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Educação Física, área de concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte.

Dissertation presented to the PostGraduation Programme of the School of Physical Education of State University of Campinas to obtain the Master's degree in Physical Education. Concentration area: Biodynamic Movement and Sport.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO FILIPE ANTÔNIO
DE BARROS SOUSA E ORIENTADA PELO PROF. DR.
CLAUDIO ALEXANDRE GOBATTO**

Assinatura do orientador



Campinas

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
DULCE INÊS LEOCÁDIO DOS SANTOS AUGUSTO – CRB8/4991 -
BIBLIOTECA “PROF. ASDRUBAL FERREIRA BATISTA”
FEF - UNICAMP

So85	<p>Sousa, Filipe Antônio de Barros, 1988- Mensuração da potência mecânica em esforços de alta intensidade na condição laboratorial de corrida atada e na condição de campo em corrida semi-atada e livre / Filipe Antônio de Barros Sousa. --Campinas, SP: [s.n], 2013.</p> <p style="text-align: center;">Orientador: Claudio Alexandre Gobatto. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física.</p> <p style="text-align: center;">1. Corrida. 2. Desempenho esportivo. 3. Potência mecânica. 4. Avaliação. I. Gobatto, Claudio Alexandre. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação Física. III. Título.</p>
------	--

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Mechanical power measurements in laboratory during tethered run sprints and in the field during semi- tethered run and free running sprints.

Varição acadêmica: Sousa, F. A. B.

Palavras-chave em inglês:

Running

Sports performance

Mechanical power

Evaluation

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte

Titulação: Mestre em Educação Física.

Banca Examinadora:

Claudio Alexandre Gobatto [Orientador]

Marcelo Papoti

Ricardo Machado Leite de Barros

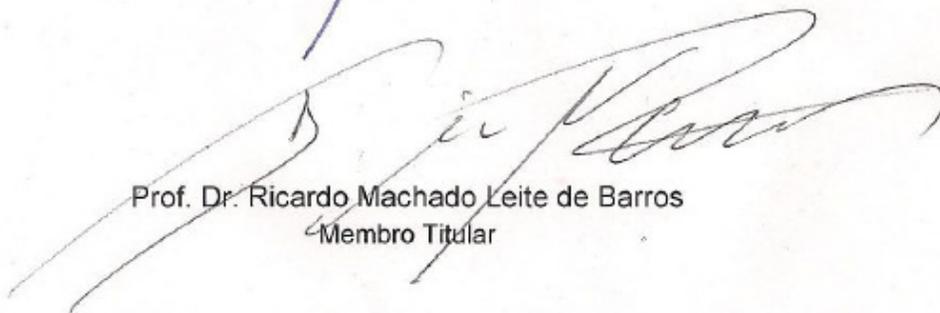
Data da defesa: 19-04-2013

Programa de Pós-Graduação: Educação Física

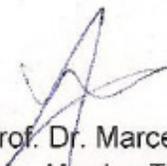
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto
Orientador



Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Membro Titular



Prof. Dr. Marcelo Papoti
Membro Titular

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente para a concepção dele. Àqueles que passaram pelo LAFAE antes de mim, àqueles que foram incorporados após o meu ingresso, e todos os colegas de curso e integrantes de laboratórios adjacentes que compartilharam experiências acadêmicas e de vida similares ao longo do período de construção da teoria e prática do texto.

Também ao meu orientador, que viabilizou o projeto em termos teórico, prático e financeiro de maneira ímpar, contribuindo com sua experiência principalmente nos momentos de dificuldade.

ímpar

Gostaria de agradecer àqueles responsáveis pela formação de meu caráter e de minha vida acadêmica. Em especial aos meus pais, pelo seu empenho na minha criação enquanto ser humano que me proporcionou um crescimento não completamente livre das privações da vida, mas sim ciente e portador de ferramentas para superá-las através do meu próprio esforço. E não menos importante, aos meus orientadores durante a graduação e pós-graduação, que analogamente se empenharam em fornecer condições para o meu desenvolvimento acadêmico enfatizando etapas fundamentais do meu aprendizado. Também aos companheiros de laboratório, que dividiram seus ensinamentos e aprendizados comigo.

Não poderia deixar de agradecer a minha namorada Natália, alma gême a quem me dedicou incontáveis horas de conversas sobre a vida, seja ela acadêmica, profissional e principalmente pessoal, dividindo opiniões sempre críticas de maneira completamente sincera e desprovida de melindres. Sem seu carinho e atenção esta trilha de minha vida seria não impossível, mas com toda certeza pobre em cor, sabor e cheiro. Gostaria de agradecê-la, sobretudo, por existir.

Por fim, preciso agradecer ao serralheiro Carlos, profissional terceirizado que nos ajudou na construção do protótipo de corrida semi-atada. Nenhum profissional da área aceitou o trabalho devido ao seu caráter inovador, porém Carlos não hesitou em prestar seus serviços sempre de maneira arrojada, dando em meio ao seu trabalho prioridade a todos os ajustes necessários ao longo do processo de coleta de dados, sempre com muito gosto. Foi e continuará sendo de valiosa contribuição prática para futuras construções do LFAE.

"Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino"
(Leonardo da Vinci)

"A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez". (George
Bernar Shaw)

"Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância"
(Jonh F. Kennedy)

"O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo." (Winston
Churchill)

SOUSA, Filipe Antônio de Barros. **Mensuração da potência mecânica em esforços de alta intensidade na condição laboratorial de corrida atada e na condição de campo em corrida semi-atada e livre**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

Resumo

Buscando fornecer ferramentas confiáveis para avaliação do desempenho durante a corrida, o objetivo do presente estudo é comparar resultados de potência mecânica horizontal obtida através de uma proposta de fácil aplicação prática (protocolo de RAST) com aqueles oriundos de um sistema de elevada sensibilidade na avaliação de corredores. Dez estudantes universitários ativos e saudáveis do gênero masculino ($19,8 \pm 2,1$ anos; $72,3 \pm 6,8$ kg; 179 ± 19 cm; $9,8 \pm 5,1$ %g) e nove atletas especializados em corrida de velocidade também do gênero masculino ($20,1 \pm 1,9$ anos; $68,46 \pm 6,18$ kg; 178 ± 5 cm; $4,44 \pm 1,18$ %g) se voluntariaram para o estudo. A coleta de dados se dividiu em duas etapas: a primeira foi realizada com o grupo de indivíduos ativos, com a finalidade de acessar e comparar a reprodutibilidade do sistema de corrida atada em laboratório (CA) e o sistema de corrida semi-atada em campo (CSA). Para isso, os indivíduos realizaram uma sessão em cada ergômetro, composta por duas corridas de 35 metros divididas por um intervalo de 30 minutos e uma corrida de 35 metros em situação de corrida livre em campo. Os resultados oriundos do sistema de CSA se mostraram diferentes em magnitude, porém correlacionados com os dados de CA quando relativizados pelo peso corporal. A reprodutibilidade de ambos os sistemas foi semelhante, porém a força, velocidade e potência obtidas pelo sistema de CSA foram mais bem correlacionadas com a medida de desempenho adotada. A utilização da CSA na segunda etapa das coletas possibilitou a exclusão da influência das diferenças entre avaliações laboratoriais e de campo na análise comparativa entre o sistema e os dados oriundos das equações propostas pelo protocolo de RAST. Essa etapa consistiu da aplicação do protocolo de RAST em pista na condição de corrida livre e na condição semi-atada na amostra de atletas velocistas. Na análise das variáveis mecânicas da condição de CSA, a equação proposta pelo RAST forneceu dados com magnitude semelhante àqueles encontrados pelos sensores do protótipo. Apesar disso, é observada para força e potência uma perda na consistência intra-indivíduo entre a equação do RAST e o sistema de CSA, representado por baixos r de Pearson, e uma razoável precisão como demonstrado por coeficientes de variação por volta de 7-9%. A velocidade é a única variável que mantém acurácia, precisão e consistência entre as ferramentas de medida. Sendo assim, é possível que as múltiplas derivações e a baixa frequência de aquisição de dados tenham comprometido o cálculo da força e potência em atletas de elevado desempenho, não sendo sensível para o seu ranqueamento. Concluímos que o sistema de CSA fornece informações reprodutíveis e mais bem relacionadas ao desempenho de pista do que a

avaliação laboratorial de CA. As equações oriundas do RAST apresentam alguma acurácia no que diz respeito à magnitude da manifestação de força e potência, porém falha em manter a consistência e precisão ao avaliar corredores de rendimento elevado, se mostrando uma ferramenta não adequada para a classificação dessas qualidades em atletas desse nível.

Palavras-Chave: Corrida atada; Corrida semi-atada; Desempenho esportivo; Potência mecânica; Avaliação em campo;

SOUSA, Filipe Antônio de Barros. **Mechanical power measurements in laboratory during tethered run sprints and in the field during semi-tethered run and free running sprints.** 2013. 102 f. Dissertation (Master's degree in Physical Education)-School of Physical Education, State University of Campinas, Campinas, 2012.

Abstract

Seeking for reliable tools in performance evaluation during sprint running, this study aim relies on the comparison between mechanical power measurements obtained by a practical and easy application protocol (RAST protocol) with a system which provides a high data acquisition frequency. Ten healthy male college students who reported to be active in different sports disciplines (19.8 ± 2.1 years; 72.3 ± 6.8 kg; 179 ± 19 cm; 9.8 ± 5.1 %g) and nine male sprint runners (20.1 ± 1.9 years; 68.46 ± 6.18 kg; 178 ± 5 cm; 4.44 ± 1.18 %g) volunteered to take part in this investigation. The study was divided in two main parts: firstly, in order to assess and compare the laboratory tethered running (TR) system and the field semi-tethered running (STR) system reliabilities, the active participants undergone two sessions, each session consisting of two 35 meters sprint with a 30 minutes interval in one of the ergometers, as well as one 35 meters sprint in free running condition. STR mechanical parameters presented statistical difference towards TR, but high significance when relative to the individual body mass. The reliability of both parameters were similar, however force, velocity and power measurements were better correlated to performance in STR condition. So, using STR for the second stage of the study enables the isolation of the effect caused by differences between laboratory and field environments during the comparison among mechanical variables measured for the system and RAST's equations. During this stage, the sprint athletes underwent two RAST protocols in free running and STR condition, on two different sessions. In the STR condition, both the sensors and RAST's equations were similar concerning magnitude, but force and power calculated by the equations showed a poor consistency illustrated by weak Pearson's r, and a reasonable precision, based on CV's ranging 7-9%. Velocity parameters derivates based only in time to complete the effort maintained its accuracy, precision and consistency, so that approach is encouraged when a simple analysis in repeated sprint protocols is needed. It is possible that the low data acquisition frequency together with multiple derivations on RAST equations compromised force and power consistency in well trained sprint athletes. In conclusion, STR field evaluation provides reliable data that is more related to performance measures than the laboratory TR. Despite the maintenance of accuracy between RAST equations and STR system regarding force and power, it presented a weak precision and very low consistency when evaluating well trained sprint athletes, raising doubts about its application to evaluate this qualities in that kind of population.

Keywords: Tethered running; Semi-tethered running; Sports performance; Mechanical power; Field evaluation;

Lista de equações

Eq. 1 - Potência = (massa x distância ²)/tempo ³	pg. 26
Eq. 2 - IF (W/s) = (PP – Pmin) ÷ TT.....	pg. 27
Eq. 3 - IF (%) = ((PP-Pmin) ÷ PP) *100.....	pg. 27
Eq. 4 - IF (%) = ((100 x (TT ÷ Tempo ideal)) – 100.....	pg. 27
Eq. 5 - BLC(t) = (A*k1)/(k2-k1) * (e ^{-k1 * t} – e ^{-k2*t}) + BLC ₀	pg. 47

Estudo 2

Eq.1 - P (W) = (BM*distance ²)/time ³	pg. 75
Eq. 2 - V = d/t.....	pg. 79
Eq. 3 - F = (BM*d)/t ²	pg.79

Lista de tabelas

Estudo 1

Tabela 1 - Descriptive data derived from the two ergometers in test and retest, presented as mean \pm SD and ANOVA's p for 'trial' and 'ergometer' factors..... **Pg. 64**

Tabela 2 - Re-test data analysis for semi-tethered and tethered running re-test data, and its Pearson's r relationship with free running..... **Pg. 65**

Estudo 2

Tabela 1 - RAST over semi-tethered condition, calculated by the prototype sensors (STRsen) and RAST proposed equation and its derivatives (STReq)..... **Pg. 80**

Tabela 2 - RAST performance comparisons among semi-tethered running (STR) and free running (FR)..... **Pg. 81**

Tabela 3 - RAST lactate response for STR and FR **Pg. 81**

Lista de figuras

- Figura 1 – comportamento da potência total mensurada em célula de carga durante corrida de trinta segundos e suas componentes horizontal e vertical.....**Pg. 30**
- Figura 2 – sistema de corrida semi-atada.....**Pg.39**
- Figura 3 – desenho experimental da primeira etapa.....**Pg.44**
- Figura 4 – Desenho experimental da segunda etapa.....**Pg.45**
- Figura 5 – trajetória de corridas em *sprint* durante o protocolo de RAST, onde cada uma das corridas é realizada em máxima intensidade e com um intervalo de 10s entre elas..... **Pg. 45**
- Figura 6 – especificações de tamanho e aplicação do CRV..... **Pg. 50**
- Figura 7 – Protótipo do CRV com todo o sistema de coleta.....**Pg. 51**
- Figura 8 – reta de calibração entre o sinal em volts e a massa correspondente em kg.....**Pg. 53**
- Figura 9 – Exemplo do sinal de força registrado na ENM com os momentos de vale que precedem picos bruscos marcados.....**Pg. 55**
- Figura 10 – exemplo do comportamento da velocidade desenvolvida na ENM durante aproximadamente 1 segundo, com freqüência de aquisição original (A) e dados interpolados para 1000 Hz (B).....**Pg. 56**

Estudo 1

Figura 1 – (a) STR application examples, (b) schematic illustration of the apparatus developed to perform the semi-tethered running, with its dimensions and (c) power signal behavior during the two 35 meters sprint in STR condition.....**Pg. 64**

Estudo 2

Figura 1 – STR prototype and data example collected over a 35 meter sprint.....**Pg. 85**

SUMÁRIO

Resumo.....	11
Abstract.....	13
Lista de equações	15
Lista de tabelas.....	17
Lista de figuras.....	19
1 Introdução.....	23
2 Revisão de literatura	27
2.1 Potência	27
2.2 Teste de Wingate.....	28
2.3 <i>Running-based Anaerobic Sprint Test</i>.....	31
2.4 Corrida Atada.....	35
2.4.1 Histórico.....	35
2.4.2 Evolução do sistema	36
2.4.3 Validade e reprodutibilidade	40
2.1.1 Outras aplicações do sistema.....	44
2.2 Corrida semi-atada	45
3 Metodologia	49
3.1 Amostra.....	49
3.2 Procedimentos gerais para coleta de dados.....	49
3.2.1 Protocolos de avaliação.....	50
3.2.2 Variáveis a serem analisadas	52
3.3 Esteira não motorizada	53
3.4 Carro de resistência variável	54
3.5 Calibração dos sensores	57
3.6 Análise dos sinais.....	58
3.7 Análise estatística.....	61
4 Resultados.....	63
4.1 Estudo 1	63
Field measures of horizontal force, velocity and power in sprint by the semi-tethered running system and comparisons with laboratory tethered run data.....	63

4.2	Estudo 2	79
	Running-based anaerobic sprint test in free and loaded condition: validity and sensibility of power, force and velocity derived from time to complete the effort	79
5	Discussão.....	95
6	Conclusão.....	101
	REFERÊNCIAS	102

1 Introdução

A avaliação da potência mecânica em esforços de alta intensidade e curta duração tem sido classicamente realizada através do protocolo de Wingate em cicloergômetro. Uma vez que o aumento da eficiência mecânica durante o teste estreita a relação entre os parâmetros de potência mecânica obtidos e a habilidade de gerar energia metabolicamente pelo indivíduo, avaliações destinadas a atletas de modalidades diversas devem ser realizadas utilizando protocolos que levem em consideração o emprego de um padrão de movimento semelhante àquele comumente experimentado pelo avaliado (KLASNJA et al., 2010; VAN INGEN SCHENAU; JACOBS; DE KONING, 1991).

Ergômetros e protocolos alternativos ao teste de Wingate têm sido utilizados na avaliação de atletas de modalidades que envolvem corrida, aprimorando a produção de potência nos testes realizados com corredores e aumentando assim a validade da avaliação em fazer inferências sobre o desempenho desses atletas em esforços de curta duração e elevada intensidade na sua modalidade de interesse (GREEN, 1995). As variadas abordagens de avaliação da potência mecânica em corrida passam por medidas indiretas, como é o caso do protocolo conhecido como Running-based anaerobic sprint test (RAST), até a utilização de ergômetros desenvolvidos para aferição direta da força e velocidades desenvolvidas pelo avaliado durante a corrida, como o sistema de corrida atada (CA) em esteira não motorizada.

O RAST é uma adaptação do protocolo de Wingate concebido como uma fácil aplicação desse protocolo para corrida de campo. Consiste na realização de seis corridas em intensidade máxima de trinta e cinco metros de duração, separadas por dez segundos de intervalo. A partir do tempo de realização de cada uma das corridas e do deslocamento realizado, são estimadas a velocidade e aceleração médias do indivíduo para cada corrida. Recentemente, os dados obtidos através do protocolo de RAST foram avaliados em termos de reprodutibilidade teste-reteste e através da comparação com o teste de Wingate. O protocolo apresentou boa reprodutibilidade, porém suas variáveis diferem em

termos de magnitude daquelas oriundas do teste de Wingate, apresentando controvérsias acerca da existência ou não de relações entre a potência desenvolvida no teste de Wingate e aquela calculada pelo protocolo de RAST (KEIR; THERIAULT; SERRESSE, 2012; ZACHAROGIANNIS; PARADISIS; TZIORTZIS, 2004; ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009). Apesar da elevada aplicação prática e alta especificidade na avaliação de corredores no ambiente de competição, a utilização do protocolo de RAST como uma ferramenta confiável está atrelada a um aprofundamento na investigação no que diz respeito a sua validade.

O sistema de CA em esteira não motorizada se apresenta como uma ferramenta de elevada validade (BAKER, J.; RAMSBOTTOM; HAZELDINE, 1993; CHIA; LIM, 2008; FUNATO; YANAGIYA; FUKUNAGA, 2001) e reprodutibilidade (FUNATO et al., 2001; JASKÓLSKI et al., 1996; LIM; CHIA, 2007) em avaliação do desempenho durante corrida de durações curtas e intensidades máximas. Trata-se de um sistema de alta sensibilidade na aquisição de dados, que por utilizar uma esteira sem motor cuja propulsão se dá por parte do avaliado é capaz de mensurar a potência horizontal realizada durante a corrida respeitando as variações de força e velocidade impostas pelo atleta na medida em que estas se manifestam durante o esforço (LAKOMY, H. K. A., 1993; MCKENNA; RICHES, 2007) e ainda oferecer alta especificidade na avaliação, podendo ser usado na aplicação de protocolos com variadas durações (CHIA; LIM, 2008; FALK et al., 1996; GREENHAFF et al., 1994). O sistema de CA apresenta uma maior especificidade na avaliação de corredores do que procedimentos realizados em cicloergômetro, sendo seu uso mais recomendado em relação ao teste de Wingate para avaliação de esportes que utilizem corrida. Porém ainda são encontradas diferenças entre a cinética e cinemática da CA em laboratório e a corrida livre em campo, dada as diferenças entre as resistências impostas ao corredor e o apoio de uma superfície fixa, como uma parede.

Buscando uma especificidade ainda maior na avaliação de corredores, recentemente foi desenvolvida em nosso laboratório uma possibilidade de transporte do sistema de CA para avaliações em campo, aumentando ainda mais

a especificidade na avaliação de corridas de alta intensidade e a sensibilidade das avaliações de campo. Intitulado de corrida semi-atada (CSA), o sistema proposto consiste em uma robusta estrutura de ferro fixa ao chão, equipada com uma bobina contendo 150 metros de cabo de aço inextensível. Atado pela cintura o atleta corre se afastando da estrutura e puxando o cabo, e um sensor ótico instalado na bobina mede a velocidade angular com que ela desenrola. Também acoplado à bobina, uma célula de carga mensura a força com que o atleta puxa o cabo, capturando assim em corrida de campo a força e velocidade realizadas pelo atleta com sensibilidade de aquisição de dados semelhante ao sistema laboratorial de CA (LIMA, M. C. et al., 2011).

Apesar da válida e reproduzível aplicação do sistema, algumas limitações foram observadas, como a duração do teste atrelada ao espaço em linha reta disponível, ou a variabilidade do ruído mecânico no sinal da célula de carga provocado pelo aumento do cabo ao longo da avaliação.

Sendo assim, um novo protótipo está sendo apresentado buscando manter as vantagens do protótipo anterior, como elevada sensibilidade de aquisição de dados e possibilidade de avaliação da corrida em campo, e sanar os problemas apresentados pelo protótipo anterior de CSA. Uma vez que diferenças no padrão de movimento utilizado ou entre a condição laboratorial e de campo podem ser a causa das diferenças encontradas entre a potência desenvolvida no teste de Wingate e o protocolo de RAST, a utilização de uma ferramenta de alta precisão e aplicação em corrida de campo pode auxiliar no estudo da validade dos resultados obtidos através do RAST.

Buscando fornecer ferramentas confiáveis para avaliação do desempenho durante a corrida, o principal objetivo do presente projeto é comparar resultados de potência mecânica horizontal obtida através de uma proposta de fácil aplicação prática com aqueles oriundos de um sistema de elevada sensibilidade na avaliação de corredores. Como objetivos específicos, enumeram-se: i) comparação dos resultados da avaliação laboratorial de CA com o protótipo proposto para teste de campo; ii) verificação da reprodutibilidade e capacidade de prever desempenho do novo protótipo de CSA em avaliação de corredores em

campo; iii) comparação dos resultados do protocolo de RAST com aqueles obtidos através de um sistema de elevada sensibilidade na avaliação específica de corredores.

2 Revisão de literatura

2.1 Potência

O termo potência tem sido empregado de uma maneira abrangente, causando confusão na literatura esportiva. Uma comum utilização do termo potência se refere a qualquer atividade muscular de alta manifestação de força envolvendo velocidade elevada. Essa é uma aplicação simplória e seu uso é desencorajado no ambiente científico (KNUDSON, 2009).

No estudo da fisiologia do exercício, o termo potência é comumente utilizado como a taxa de utilização de energia, empregando o termo 'potência aeróbia' como um sinônimo de consumo máximo de oxigênio (ESPOSITO et al., 2010; MYLES; TOFT, 1982; STOJANOVIC et al., 2012), e se referindo à taxa de funcionamento do metabolismo anaeróbio como 'potência anaeróbia' (CERRETELLI, 1992).

O sentido mecânico do termo potência se baseia na manifestação de trabalho por unidade de tempo. Knudson levanta a discussão sobre o uso deliberado do termo potência no sentido mecânico para representar o trabalho realizado pelo organismo humano em atividades esportivas (KNUDSON, 2009). Para o emprego eficiente desse termo de maneira a permitir comparações de magnitude entre desenhos experimentais são necessárias certas especificações acerca do sistema utilizado para mensuração do trabalho, o sentido de sua aplicação e qual amplitude de esforço foi considerada.

Desde a década de 70 um largo número de protocolos e ergômetros diferentes foi proposto na buscando características que aumentassem a especificidade da avaliação, aproximando as relações entre a taxa de trabalho avaliado com as atividades musculares particulares de diferentes modalidades (GREEN, 1995; VANDEWALLE; PERES; MONOD, 1987). Em sua grande maioria, os testes se basearam na mensuração da força e velocidade aplicadas durante o esforço, componentes da potência mecânica.

Provavelmente potencializados pela confusão de conceito em torno do termo potência no âmbito das ciências do esporte, o termo potência anaeróbia foi e continua atrelado aos resultados do teste de Wingate, confundindo parâmetros mecânicos com energéticos (POPADIC GACESA; BARAK; GRUJIC, 2009). O emprego da palavra para representar taxa metabólica de produção de energia não está equivocado, porém o teste de Wingate realiza mensurações da potência mecânica em um cicloergômetro, e pode ou não apresentar relações com o funcionamento do metabolismo anaeróbio devido à sua duração e intensidade (BENEKE et al., 2002; GOSLIN; GRAHAM, 1985). Sendo assim, o uso intercambiável dessas duas formas de expressão da potência sem considerar as limitações atribuídas a isso pode levar a resultados equivocados.

2.2 Teste de Wingate

O teste de Wingate, desenvolvido no laboratório homônimo em Israel (BAR-OR, 1987) consiste na realização de trinta segundos de esforço máximo no cicloergômetro contra uma resistência normalizada pelo peso corporal. Baseado na resistência estipulada ao ergômetro e na cinética da frequência de ciclos imposta pelo avaliado no pedal, é possível calcular a potência mecânica desenvolvida durante todo o esforço. A potência do teste de Wingate é comumente analisada em médias de cinco segundos, onde a maior delas é chamada de potência pico e a média de todas elas equivale à potência média. A queda de potência ao longo de todo o teste, independente da maneira em que é calculada, é chamada de índice de fadiga (CHEETHAM; WILLIAMS; LAKOMY, 1985; GLAISTER et al., 2004).

Durante muito tempo, o teste de Wingate em cicloergômetro foi largamente utilizado para a análise de manifestação da potência mecânica em atividades curtas e de alta intensidade (BOGDANIS et al., 1995; PATTON; DUGGAN, 1987). As elevadas associações dos parâmetros mecânicos mensurados pelo teste e o funcionamento do metabolismo anaeróbio fortaleceram a sua difusão e o levaram

a ser usado por muito tempo como padrão ouro na avaliação da potência de energia advinda do metabolismo anaeróbio (CHIA; LIM, 2008; GREEN, 1995).

A duração do teste de Wingate garante que seja alcançada uma intensidade elevada o suficiente para ser significativamente dependente do metabolismo anaeróbio (CHEETHAM et al, 1985). Após um teste de Wingate, foi observada uma larga depleção dos substratos do metabolismo anaeróbio láctico e alático, fosfocreatina (PCR) e glicogênio. Além disso, foi observado o aparecimento de uma elevada acidose muscular, acúmulo de lactato muscular e sanguíneo, aumento da presença muscular de subprodutos da glicogenólise e glicólise anaeróbia (Glicose-1-fosfato, Glicose-6-fosfato e Frutose-6-fosfato) e aumento significativo da glicose sanguínea pós esforço (BOGDANIS et al., 1995; VINCENT et al., 2004). A utilização significativa dos substratos do metabolismo anaeróbio, bem como o aumento da concentração de metabólitos relacionados ao funcionamento do metabolismo anaeróbio comprova a elevada demanda de energia requisitada a esse metabolismo durante o teste de Wingate.

Além disso, os parâmetros de potência mecânica pico e média mensurados pelo teste de Wingate se mostraram diretamente relacionados à disponibilidade de substrato e funcionamento do metabolismo anaeróbio. A magnitude da potência pico observada no teste de Wingate foi reduzida com a diminuição do PCR muscular, enquanto a potência média se mostrou relacionada com o nível de Ph muscular. Como esperado, o momento de maior potência mecânica do teste acontece concomitantemente à condição de maior presença de PCR, portanto ao momento de funcionamento pleno do metabolismo anaeróbio alático. Sendo a duração desse metabolismo muito breve, ele não apresentou relações com a potência média ao longo do esforço de trinta segundos. Porém, a atividade de enzimas chave para o funcionamento do metabolismo anaeróbio láctico (glicogênio fosforilase e fosfofrutoquinase) é inibida por um Ph ácido, e a manifestação de potência ao longo do teste, representado pela potência média, diminuiu por ocasião da redução do Ph fortalecendo assim as relações entre esse parâmetro de potência mecânica e a capacidade de produção de energia pela porção láctica do metabolismo anaeróbio (BOGDANIS et al., 1995).

Uma vez que a participação dos diferentes metabolismos energéticos não pode ser vista como eventos desassociados tendo em vista a interação em seu funcionamento, existe alguma contribuição de energia produzida aerobicamente durante o teste de Wingate. Porém, a energia advinda especificamente do metabolismo anaeróbio láctico explicou em 83 e 81% a amplitude de variação da potência pico e média entre indivíduos (BENEKE et al., 2002). Além disso, situações de hipóxia, ou baixa disponibilidade de oxigênio não influenciaram a potência pico e afetaram pouco consideravelmente (6-7%) a potência média (CALBET et al., 2003).

A ligação dos parâmetros de potência mecânica decorrentes do teste de Wingate com o funcionamento da potência anaeróbia se mostra plausível devido à grande predominância na produção de energia pelas vias anaeróbias durante o teste e as fortes influências desse metabolismo em suas variáveis de desempenho.

Apesar das relações entre o metabolismo energético anaeróbio e o teste de Wingate, ao empregar um teste como esse o avaliador deve levar em consideração que está apenas medindo a potência mecânica que é empregada no cicloergômetro ou o trabalho aproveitado durante a atividade realizada, e não o total de energia produzida. Diversos trabalhos empregam os resultados de potência mecânica oriunda do teste de Wingate ou similares como medida direta de funcionamento metabólico (BOSCO; LUHTANEN; KOMI, 1983; PATTON; DUGGAN, 1987), porém essa relação muitas vezes não é encontrada, tornando essa aplicação delicada (GOSLIN; GRAHAM, 1985).

Desconsiderando movimentos além daqueles registrados pelo dinamômetro, uma vez que haja necessidade da manutenção da relação dos dados coletados com desempenho, em qualquer ergômetro ou teste cujo score se baseie em parâmetros mecânicos a escolha do melhor procedimento deve considerar as características da atividade a que se quer avaliar, em termos de duração e intensidade e padrão motor (VANDEWALLE et al., 1987). Em termos práticos, ao realizar inferências sobre o desempenho do salto vertical, é possível que um teste que meça altura do salto vertical nas condições em que ele é

realizado durante a atividade venha a trazer resultados mais valiosos do que a aplicação de sistemas que façam inferências sobre todas as variáveis atuantes no salto, segregando o objetivo da avaliação em resultados desassociados (KNUDSON, 2009).

A relação entre os resultados obtidos no teste de wingate e desempenho de corredores é pouco consolidada, e a incapacidade de diferenciar corredores é atribuída à baixa eficiência mecânica apresentada no cicloergômetro por atletas que apresentam essa natureza de treinamento (LEGAZ-ARRESE et al., 2011).

Sendo assim, protocolos foram desenvolvidos utilizando características do teste de Wingate, porém empregando a corrida como padrão de movimento, visando uma maior eficiência mecânica para atletas de corrida. O objetivo dessas proposições é obter uma melhor sensibilidade entre os parâmetros de potência mecânica obtidos com o desempenho em prova, mantendo relações com o funcionamento do metabolismo energético dos corredores. Entre esses protocolos podem ser citados o *Maximal Anaerobic Running test* (MART), o *Running-based anaerobic Sprint test* (RAST) e o *Margaria Staircase test* (NEDELJKOVIC et al., 2007; NUMMELA et al., 1996; ZACHAROGIANNIS et al., 2004). O RAST apresenta vantagens sobre os demais por se tratar de um protocolo de baixo custo e fácil aplicação, podendo ser largamente difundido na prática esportiva. Para isso, a validade e confiabilidade dos dados obtidos pelo protocolo precisam ser comprovadas.

2.3 *Running-based Anaerobic Sprint Test*

Recentemente, o *Running-based Anaerobic Sprint Test* (RAST) foi concebido como uma alternativa para o teste de Wingate na avaliação de corredores (ZACHAROGIANNIS et al 2004). Esse teste consiste na realização de seis corridas livres de trinta e cinco metros em intensidade máxima, onde ao término de cada corrida o avaliado dá meia volta e após dez segundos de intervalo passivo corre no sentido oposto ao esforço anterior para a continuação do teste. Uma das vantagens do RAST é a fácil aplicação prática devido à necessidade de

apenas um cronômetro e uma balança, podendo ser aplicado no espaço de um ginásio de esportes (ZAGATTO et al., 2009).

O protocolo calcula a potência média para cada um dos seis tiros, obtendo a velocidade média de cada um deles a partir do quociente entre o deslocamento e o tempo necessário para cada corrida. A partir da velocidade média de corrida, uma segunda derivada do deslocamento é realizada obtendo assim a aceleração média entre o momento inicial (velocidade zero) e o final de cada uma das corridas. Utilizando a massa do indivíduo, a força média realizada para cada corrida é calculada, e a potência obtida através do produto entre a velocidade e a força. Simplificando o cálculo dessas derivações, se obtêm a equação 1 que é aplicada utilizando a massa do indivíduo, o tempo e distância de cada uma das seis corridas.

$$\text{Potência} = (\text{massa} \times \text{distância}^2) / \text{tempo}^3 \quad (\text{Eq. 1})$$

A fácil aplicação prática e a especificidade na avaliação de esportes envolvendo corrida apresentada pelo protocolo de RAST têm levado à sua inclusão em diversos desenhos experimentais como ferramenta de avaliação da potência mecânica em esforços de elevada intensidade, sendo usado em estudos sobre a influência de diferentes substâncias ergogênicas na potência mecânica (GHANBARI-NIAKI; KRAEMER; SOLTANI, 2010; JOURKESH; OSTOJIC; AZARBAYJANI, 2007), bem como na avaliação de efeitos de treino (BALČIŪNAS et al., 2006; FARZAD et al., 2011).

No teste de Wingate, apesar de uma maior frequência de aquisição de informações no cálculo da potência, durante a análise dos dados é classicamente realizada médias de 5 segundos ao longo do teste. Analogamente, os dados das médias de potência entre as seis corridas obtidas na aplicação do protocolo de RAST são identificados em termos de potência pico, ou a maior potência média entre as seis corridas e a potência média como a média das potências ao longo do teste. A potência mínima entre as seis corridas é apresentada em alguns casos, porém sua interpretação pode ser redundante uma vez que comumente um índice

de fadiga (IF) é também calculado, permitindo maiores inferências sobre a diminuição da potência ao longo do teste.

O cálculo do IF utilizando os dados oriundos do RAST encontra divergências, podendo ser encontrado como o quociente entre a subtração da potência máxima e mínima pela soma dos tempos de corrida (eq. 2), ou a diferença entre a potência máxima e mínima em relação percentual da máxima (eq. 3) (BALČIŪNAS et al., 2006; ROSEGUINI; SILVA; GOBATTO, 2008; ZAGATTO et al., 2009).

$$\text{IF (W/s)} = (\text{PP} - \text{Pmin}) \div \text{TT} \text{ (Eq. 2)}$$

$$\text{IF (\%)} = ((\text{PP} - \text{Pmin}) \div \text{PP}) * 100 \text{ (Eq. 3)}$$

PP – Potência pico

Pmin – potência mínima

TT – soma dos tempos de todas as corridas

A validade e reprodutibilidade de diferentes maneiras de calcular o coeficiente de fadiga em protocolos de corridas repetidas foram amplamente analisadas por Glaister e colaboradores (GLAISTER et al., 2008; GLAISTER et al., 2004). Essas maneiras levam em consideração apenas o tempo de realização de cada corrida, porém podem ser facilmente adaptadas para utilização em qualquer parâmetro obtido ao longo de um protocolo de corridas repetidas onde a fadiga se mostre presente. Dentre oito diferentes maneiras utilizadas na literatura, inclusive uma análoga a segunda mencionada nessa revisão (eq. 3) os autores sugerem que a queda percentual em relação ao total de esforço realizado (eq. 4) é a forma que menos atribui erro tanto em termos de reprodutibilidade quanto no que diz respeito à sua validade lógica, considerando o comportamento da fadiga em protocolos de corridas repetidas observado em diferentes estudos.

$$\text{IF (\%)} = ((100 \times (\text{TT} \div \text{Tempo ideal})) - 100) \text{ (Eq. 4)}$$

TT – soma dos tempos de todas as corridas;

Tempo ideal – melhor tempo multiplicado pelo número de corridas;

Um ponto forte da equação 4 sobre as demais se apóia na utilização de todas as corridas para o cálculo da manifestação da fadiga, em detrimento da utilização dos momentos extremos, como é o caso na equação 3. Empregar apenas os extremos no cálculo da fadiga ao longo de uma série de esforços pode deixar o resultado obtido mais sujeito ao efeito do erro randômico embutido na ferramenta que mede a variável, problema o que se apresenta suavizado quando as demais observações são incluídas no cálculo. Apesar disso, todas as maneiras de cálculo do IF apresentam uma baixa reprodutibilidade intra indivíduo, com coeficientes de variação em torno de 30% (GLAISTER, 2008), o que torna delicado o uso dessa variável como indicativo de fadiga.

O cálculo da potência de corrida realizada através de múltipla derivação dos resultados baseados apenas no tempo de corrida pode vir a comprometer a confiabilidade dos dados obtidos. Talvez esse seja o motivo das diferenças na magnitude dos parâmetros de potência observadas entre os dados oriundos do RAST e do teste de Wingate, bem como da controvérsia entre as relações entre os dois protocolos, significativas para algumas investigações (ZACHAROGIANNIS et al., 2004; ZAGATTO et al., 2009) e não para outras (KEIR et al., 2012). Mesmo assim, o RAST apresenta uma boa reprodutibilidade em análises de teste-reteste principalmente para as variáveis de potência, com índices de correlação intraclassa elevados (ICC entre 0.92 - 0.97), sendo o índice de fadiga e o pico de concentração de lactato sanguíneo as variáveis de reprodutibilidade mais frágil (ICC = 0.7 e 0.65, respectivamente), e ainda uma maior relação com o desempenho em corrida de velocidade máxima com durações entre 35 - 400 metros do que os parâmetros obtidos no Wingate de cicloergômetro (ZAGATTO et al., 2009).

Além da proposição de protocolos como o RAST, a busca do aprimoramento da avaliação da potência mecânica desenvolvida por corredores levou à utilização de ergômetros que associassem vantagens como a utilização do padrão motor específico e uma alta sensibilidade na aquisição de dados. Nas últimas três décadas, foi proposto o sistema de corrida atada, que através do uso de uma esteira não motorizada (ENM) e transdutores de força, busca uma avaliação mais

próxima da realidade de demanda mecânica e energética envolvida na corrida apresentando elevada frequência de aquisição de dados como a experimentada pelo cicloergômetro (CHEETHAM et al., 1985; FALK et al., 1996; HOPKER et al., 2009; HUGHES et al., 2006; LAKOMY, 1987).

2.4 Corrida Atada

2.4.1 Histórico

A análise da potência mecânica em corrida através do método atado em esteira não-motorizada teve início na década de oitenta, proposto por um grupo de pesquisadores da Universidade de Loughborough, na Inglaterra (CHEETHAM et al., 1985; LAKOMY, 1987). Cheetham e colaboradores (1985) verificaram a validade e reprodutibilidade de um teste de trinta segundos de corrida atada em velocidade máxima na ENM. Sendo a velocidade da esteira variável de acordo com a movimentação realizada pelo atleta, a proposta visava se aproximar da realidade de corrida em prova, respeitando a aceleração e desaceleração natural do indivíduo durante manifestações dessa natureza.

Um gerador de corrente contínua foi conectado à cinta da esteira e a produção de energia por parte deste monitorada por um computador. Dessa maneira, a intensidade da corrente produzida era diretamente proporcional à velocidade imprimida à esteira por parte do avaliado. O ergômetro proposto por Cheetham e colaboradores para a corrida atada em ENM se mostrou capaz de avaliar a variação de velocidade dos indivíduos durante corridas de intensidade máxima.

Em 1987, Lakomy aliou ao sistema de avaliação em ENM um transdutor de força preso a uma haste rígida, conectada na extremidade oposta à cintura do atleta. Para manter a orientação da haste paralela ao solo independentemente da altura do avaliado, o transdutor de força foi fixado em um poste que possibilita a regulagem de sua altura. A resultante de força captada no modelo de Lakomy

mede a força realizada no sentido horizontal exercida pelo avaliado durante a corrida (LAKOMY, 1987).

Captando a velocidade horizontal do atleta de maneira análoga ao trabalho de Cheetham e colaboradores (CHEETHAM et al, 1985), Lakomy calcula a potência mecânica manifestada na orientação horizontal através do produto entre a força e a velocidade empregada nesse sentido pelo avaliado, que seriam determinantes do desempenho durante o esforço. Essa abordagem admite que (a) o erro atribuído decorrente das diferenças entre um ponto de mensuração próximo ao centro de massa (cintura) e o ponto de aplicação da força (pés) é pequeno, (b) a variação da orientação do cabo atado à cintura é pequena durante o teste, o que torna a força mensurada equivalente à componente horizontal dessa variável durante a corrida sem influências de grande magnitude da força vertical, (c) que a elasticidade desse sistema deve ser insignificante, (d) e que a inclinação do avaliado para frente durante a corrida influencia pouco na magnitude da força medida (LAKOMY, H., 1993). Estudos posteriores fortalecem os pressupostos de Lakomy para a realização desse método (BAKER, J. et al., 1993; FALK et al., 1996; FUNATO et al., 2001).

2.4.2 Evolução do sistema

O sistema de corrida atada em ENM apresenta diferenças cinéticas com relação à corrida em pista principalmente pela velocidade máxima desenvolvida (CHELLY; DENIS, 2001; FALK et al., 1996; JASKÓLSKI et al., 1996). A menor velocidade máxima encontrada na avaliação em ENM com relação à pista é proporcionada principalmente pela força de resistência provocada pelo atrito entre a cinta da esteira e o “berço” ou placa onde o peso do atleta é apoiado.

Buscando aproximar a avaliação em ENM da realidade de corrida livre, alguns trabalhos (CHELLY; DENIS, 2001; JASKOLSKA et al., 1999; JASKÓLSKI et al., 1996; KRAM et al., 1998) acrescentaram ao sistema um motor de torque constante que provoca uma força a favor do movimento de corrida, visando compensar a resistência causada pelo atrito. Essa aplicação difere da esteira de

velocidade constante pelo fato de esta varia o torque de seu motor visando manter o indivíduo em uma velocidade estipulada, enquanto que a aplicação de torque constante tem como princípio permitir que o avaliado adicione força à cinta da esteira, acelerando o sistema como desejar. Em relação à esteira de velocidade constante, essa medida proporciona uma frequência e amplitude do ciclo de passadas mais próximas da corrida em pista (MCKENNA; RICHES, 2007).

Entretanto, mesmo usando motor de torque, estudos posteriores falharam ao aproximar a velocidade máxima alcançada na ENM e corrida livre, demonstrando que esse artifício não é suficiente para anular completamente a resistência provocada pelo atrito da esteira. Chelly e Denins em 2001 encontraram velocidades máximas de $8,5 \pm 0,3$ m/s em *sprint* de 40m em corrida livre na pista e velocidades máximas de $6,1 \pm 0,4$ m/s em esteira com motor de torque em *sprints* de 8 segundos.

Apesar da utilização do motor de torque na ENM reduzir o atrito do sistema, são observadas dificuldades em seu emprego. O primeiro deles é a dificuldade da escolha do torque ideal, uma vez que sendo ele pequeno demais não elimina suficientemente a resistência adicional inerente à ENM e um torque elevado demais poderia resultar em uma aceleração demasiada, o que nesse caso prejudicaria a mecânica de corrida (MCKENNA; RICHES, 2007). Em estudos que usam o motor de torque, a calibração de sua intensidade tem sido realizada com base no atrito estático causado pelo peso do atleta sobre a cinta (FALK et al., 1996; MCKENNA; RICHES, 2007; MORIN; EDOUARD; SAMOZINO, 2011). A força de atrito experimentada durante a corrida é dinâmica e, portanto, de caráter variável e menor do que o atrito estático. Igualar o torque do motor ao atrito estático pode levar a aplicação de uma força de compensação do atrito acima do necessário, prejudicando assim o aproveitamento da fase inercial da corrida por parte do atleta devido à aceleração exacerbada da esteira (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011).

A eficácia da utilização de um motor para compensar o atrito da ENM é questionável uma vez que oferece o risco de deteriorar o comportamento espontâneo da força e velocidade inerente à corrida livre em pista – principal

vantagem da utilização da ENM sobre a esteira motorizada comum na avaliação de corridas de elevada intensidade.

Outras tentativas de redução do atrito presente na avaliação em ENM foram sugeridas, como a adaptação do “berço” ou placa de apoio da esteira por diversos rolos com rolamentos independentes, facilitando o deslizamento da cinta pela superfície de contato do ergômetro (DE WITT et al., 2009; FUNATO et al., 2001; TSUCHIE et al., 2008).

Apesar dessa adaptação apresentar velocidades máximas ainda menores do que as observadas em corrida livre (por volta de 6m/s em FUNATO et al, 2001; e $6,73 \pm 0,53$ m/s em TSUCHIE et al, 2008), essa é uma adaptação que visa diminuir o elevado atrito imposto ao atleta durante corrida em ENM sem apresentar risco de perda do comportamento espontâneo das variáveis de desempenho analisadas.

A variação da orientação horizontal da haste ou cabo que conecta a cintura do avaliado ao transdutor de força no sistema proposto por Lakomy foi investigado por Falk et al (FALK et al., 1996). A proposta incorporou um potenciômetro ao poste que fixa o transdutor de força a ser conectado ao avaliado, retornando dessa maneira informações acerca da variação de angulação da haste onde a força realizada pelo indivíduo é medida. Os autores foram capazes de decompor a força medida em suas componentes horizontal e vertical, calculando a partir dessa informação, juntamente com a massa do indivíduo e aceleração da gravidade, a potência mecânica total realizada nessas duas direções (figura 1). A divisão da potência total em duas componentes é apontada como um avanço no sistema originalmente proposto por Lakomy, onde a componente vertical pode fornecer informações valiosas de um ponto de vista biomecânico, proporcionando comparações em termos de eficiência de corrida entre indivíduos e até mesmo na avaliação dos efeitos de treino em um mesmo indivíduo (FALK et al., 1996).

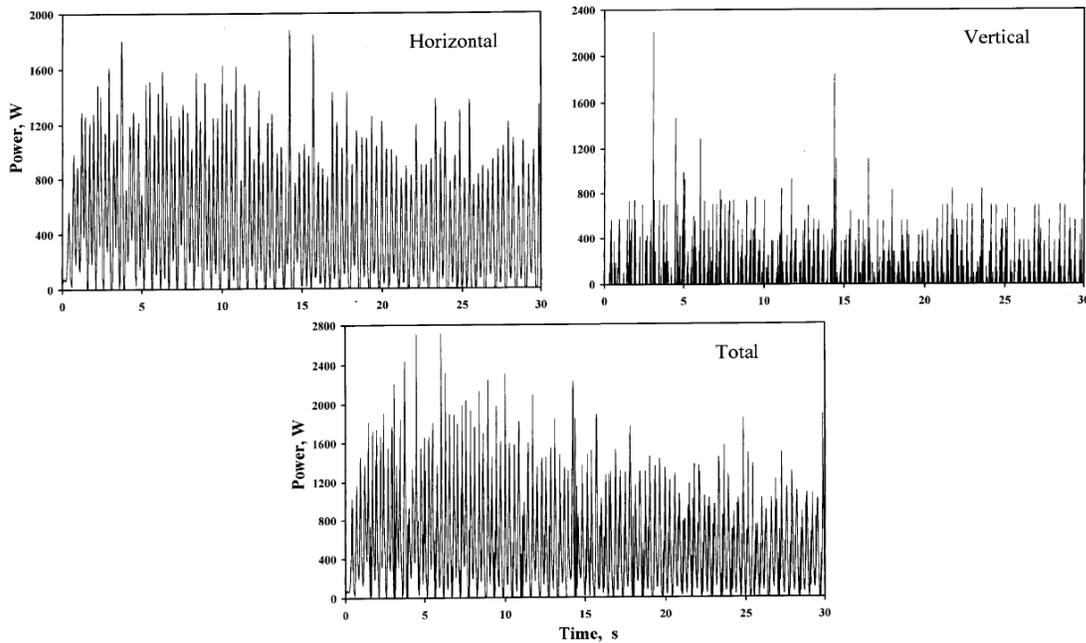


Figura 1 – comportamento da potência total mensurada em célula de carga durante corrida de trinta segundos e suas componentes horizontal e vertical (adaptado de Falk et al 1996).

A componente vertical da força mecânica mensurada durante a corrida atada corresponde ao esforço realizado pelo indivíduo para elevar seu centro de massa (JASKOLSKA et al., 1999) e se mantém constante para esforços em intensidades de 60% até a velocidade máxima de corrida (BRUGHELLI et al., 2011). Em corridas repetidas, analisando quatro sucessivas séries de cinco tiros com 6 segundos de duração e intensidade máxima em ENM, Morin e colaboradores (MORIN et al., 2012) não encontraram diferença na aplicação de força vertical ao longo da primeira série de cinco tiros. A aplicação da força vertical só começa a se deteriorar entre o primeiro e quinto tiros a partir da segunda série, e ainda assim uma diminuição significativamente menor do que a observada na componente horizontal da força aplicada (tamanho de efeito entre as diferenças intra-séries para aplicação de força de 1,41 no sentido horizontal contra 0,66 na vertical). Além disso, apesar da componente vertical da força estar relacionada ao tempo de vôo e conseqüentemente ao comprimento da passada, apenas a componente horizontal se correlaciona com a velocidade durante a corrida (BRUGHELLI et al., 2011; MORIN et al., 2011). Aliado ao fato de que para

corridas de alta intensidade e durações até 30 segundos a força vertical aplicada se mantém constante, pode se concluir que a força horizontal é a componente que determina o desempenho e o aparecimento de fadiga na potência total em esforços dessa natureza.

2.4.3 Validade e reprodutibilidade

A validade e reprodutibilidade do sistema de corrida atada em ENM na avaliação de corridas de curta duração e elevada intensidade têm sido atestadas através de estudos que empregam comparações entre as variáveis de potência, força e velocidade obtidas nesse ergômetro com variáveis obtidas em outros ergômetros e em corrida livre (BAKER, J. et al., 1993; CHIA; LIM, 2008; FUNATO et al., 2001), bem como através de sessões de teste e re-teste de corridas utilizando o sistema (FUNATO et al., 2001; HOPKER et al., 2009; JASKÓLSKI et al., 1996; LIM; CHIA, 2007).

Uma vez que o teste de Wingate em cicloergômetro foi utilizado por tanto tempo como padrão ouro para avaliação de esforços de elevada intensidade e curta duração, a comparação com esse protocolo de teste durante o processo de validação do sistema de corrida atada em ENM para esforços dessa natureza é inevitável. Os sistemas foram comparados tanto para situações de esforços únicos quanto séries de *sprints* repetidos (CHIA; LIM, 2008; FALK et al., 1996; RATEL et al., 2004). Comumente, comparações entre as médias de potência pico e média nos dois ergômetros em protocolos semelhantes apresentam diferenças estatísticas em todos os trabalhos encontrados, porém uma relação positiva entre o comportamento dos dados é observada com valores de r significativos entre 0,57 e 0,94 (CHIA; LIM, 2008; RATEL et al., 2004).

As diferenças entre a magnitude da potência observada no teste de Wingate e na CA podem ser explicadas pela natureza das resistências enfrentadas pelo avaliado durante a realização do teste. É sabido que a potência desenvolvida em um dado ergômetro é dependente da resistência imposta durante o teste (JASKOLSKA et al., 1999; JASKÓLSKI et al., 1996; SARGEANT;

HOINVILLE; YOUNG, 1981), e é visível a diferença de magnitude entre as variáveis de potência em diferentes estudos que utilizam somente o teste de Wingate como ferramenta de avaliação, mas que adotaram estratégias diferentes de imposição de resistência. A ENM e o cicloergômetro apresentam resistências de natureza diferente, inclusive pelas diferenças de padrão de movimento, e iniciativas que busquem a padronização adequada da resistência enfrentada pelo indivíduo nos dois ergômetros ainda não foram experimentadas. Além disso, diferenças entre as atividades de corrida e ciclismo como volume de massa muscular envolvida ou especificidade de treino da amostra estudada podem explicar possíveis discrepâncias encontradas entre a magnitude dos parâmetros de potência nos diferentes ergômetros (FALK et al., 1996).

Outras abordagens foram utilizadas na investigação da validade do sistema de CA. Kram et al (KRAM et al., 1998) aperfeiçoaram o protótipo de Fuglewicz e Schieb (FUGLEWICZ; SCHIEB, 1994), montando uma esteira motorizada comercial sobre uma plataforma de força. Dessa maneira, os autores passaram a mensurar a força no ponto onde ela é de fato aplicada durante a corrida, bem como mensurando a aplicação dessa força em três diferentes componentes.

Funato et al (FUNATO et al., 2001) adotaram o uso da plataforma de força em uma ENM, permitindo a análise da manifestação de força em diferentes dimensões durante corridas máximas com a vantagem proporcionada por avaliações em ENM – a liberdade de variação de velocidade controlada pelo avaliado. Os autores compararam a força horizontal mensurada pela plataforma de força com aquela mensurada por um arranjo de célula de carga. Porém, a aplicação da célula de carga apresenta características diferentes do modelo classicamente utilizado, onde ao invés do indivíduo correr atado, realizava a compressão da célula de carga com os braços estendidos à frente. Em diferentes velocidades de corrida, a força mensurada pela célula de carga e a componente horizontal aplicada na plataforma de força não apresentaram diferenças significativas. Dessa maneira os autores fortalecem o pressuposto levantado na concepção do modelo clássico, de que não existem diferenças significativas entre o ponto de aplicação da força e um ponto de mensuração próximo ao centro de

massa. Entretanto, estudos comparando o modelo clássico de corrida atada com os resultados de força mensurados por uma esteira utilizando plataforma de força não foram encontrados, e os resultados apresentados para o sistema de Falk e colaboradores podem não representar o comportamento do modelo tradicional de corrida atada.

Variáveis de potência medidas em CA apresentaram correlações com parâmetros medidos em plataforma de força. A potência máxima de salto, o volume muscular dos membros inferiores e a rigidez da perna calculada pelo *spring mass model* se relacionaram significativamente com a potência média em uma corrida de curta duração e intensidade máxima em CA (CHELLY; DENIS, 2001). A velocidade em corridas livres na pista também se correlacionou com os parâmetros de CA. Testes de curta duração utilizando o sistema de CA demonstraram que a potência pico encontrada tende a se relacionar com a velocidade em corridas de campo mais curtas, em torno de dez metros (BAKER, J. et al., 1993), enquanto que a potência média é um fator indicativo de desempenho em corridas de 40 à 50 metros (BAKER, J. et al., 1993; CHELLY; DENIS, 2001; FUNATO et al., 2001).

Outro indicativo importante da validade do sistema em aferir a potência mecânica realizada pelo avaliado é a sensibilidade a efeitos de treino e mudanças de idade. A potência pico da CA em uma corrida de curta duração se mostrou sensível a melhoras no desempenho de corrida livre de 30 metros após treinamento intervalado (ROSS et al., 2009), e tanto a potência pico quanto a média se mostram sensíveis a mudanças de idade, sendo observados resultados mais baixos em indivíduos mais jovens, seguido de um crescimento ao longo da idade cronológica (FALK et al., 1996).

A reprodutibilidade do sistema de corrida atada em ENM foi atestada para avaliações em corrida com intensidade máxima e durações menores do que 10s (FUNATO et al., 2001; JASKÓLSKI et al., 1996), de 10s (LIM; CHIA, 2007; TSUCHIE et al., 2008), 20s (FALK et al., 1996), 30s (CHEETHAM et al., 1985) e em protocolo de *sprints* repetidos (HUGHES et al., 2006).

Jaskólski e colaboradores (JASKÓLSKI et al., 1996) analisaram a potência durante *sprint* de cinco segundos em potência pico (média de 1 segundo), potência pico instantânea e potência média durante todo o teste, apontando elevados coeficientes de Pearson ($r = 0,84$; $0,80$ e $0,89$, respectivamente) e não encontrando diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os momentos teste e re-teste para cada um desses parâmetros. Durante esforço de 20s em ENM, Falk e colaboradores (FALK et al., 1996) também encontraram valores elevados de correlação de Pearson entre teste e re-teste para potência média e potência pico ($r = 0,81$; $0,80$, respectivamente), sendo a potência pico nesse caso entendida como a maior média em 2,5 segundos de teste.

As ferramentas estatísticas para avaliar reprodutibilidade do sistema de corrida atada em ENM utilizadas nos trabalhos até então citados se baseiam na análise da reprodutibilidade relativa, ou como as variáveis se relacionam (correlação de Pearson), não avaliando a concordância entre os dados medidos em diferentes ocasiões (LIM; CHIA, 2007). Alguns desses estudos ainda se utilizam da comparação entre as médias para verificar a reprodutibilidade das medidas (através de testes t de student ou análise de variância), o que pode ser entendido como uma abordagem frágil para estudos envolvendo análise de reprodutibilidade (ALTMAN; BLAND, 1983).

Recentemente, Lim e Chia (LIM; CHIA, 2007) incorporaram ao seu estudo de análise da reprodutibilidade dos dados de potência obtidos através do sistema de ENM para avaliação de corrida de *sprint* índices como erro típico (ou coeficiente de variação, quando normalizado pela média) e limites de concordância (ou coeficiente de repetibilidade), medidas que seriam mais adequadas para análise da concordância entre duas medidas (ALTMAN; BLAND, 1983; HOPKINS, 2000). Utilizando dezoito indivíduos, Lim e Chia propuseram analisar a reprodutibilidade das medidas de potência obtidas através do sistema de corrida atada entre testes realizados em uma mesma sessão e entre testes realizados em dias distintos. Para isso, dezoito indivíduos realizaram duas corridas de 10s com um intervalo de cinco minutos, sendo repetido esse procedimento dentro de um intervalo de uma semana. O estudo aponta baixos coeficientes de

variação para potência pico e média nas análises entre e intra sessão (para PP e MP entre sessão CV=1,9% e CV=5,8% e intrasessão CV=4,3% e CV=5,0%). Os coeficientes de repetibilidade foram, para potência pico e média respectivamente, entre sessões CR = $\pm 38,93$ e $\pm 74,15$ e intra sessões CR = $\pm 74,95$ e $\pm 60,93$. A reprodutibilidade relativa também foi investigada por esses autores, com coeficientes de correlação de Pearson variando entre 0,96 – 0,99 para ambos os índices de potência pico e média entre e intra sessão.

Hopker e colaboradores (HOPKER et al., 2009) apresentam coeficientes de variação mais elevados para os parâmetros de potência pico e média em avaliação usando o sistema de corrida atada em ENM. Foram realizados quatro *sprints* em sessões diferentes, sendo os menores coeficientes de variação entre o terceiro e quarto *sprint* (CV = 10,1% para potência pico e CV = 7,4% para potência média) sugerindo um possível efeito de familiarização para essas variáveis. As forças pico e média apresentaram CV de 9,4% e 10,1%, respectivamente. A melhor reprodutibilidade observada no estudo de Lim e Chia com relação ao estudo de Hopker e colaboradores pode ser atribuída a diferenças metodológicas, como a adoção de uma amostra de gênero misto e a realização uma saída dinâmica no caso do segundo, onde o avaliado já se encontrava à 75% da velocidade máxima no momento do início do teste, diferentemente do primeiro estudo que utilizou amostra apenas do gênero masculino e início do teste partindo de uma posição estática.

2.1.1 Outras aplicações do sistema

Além da ENM, o sistema de mensuração de força utilizado na corrida atada foi adaptado para avaliação em campo. Na natação, a força de nado foi mensurada em avaliação anaeróbia para esforços de 30s em nado crawl (PAPOTI et al 2003) e ondulação submersa (PAPOTI; VITÓRIO; et al., 2007). Através de uma estrutura adaptada à borda da piscina, a força média e pico durante nado ondulatorio atado se mostraram correlacionadas à velocidade média de nado ondulatorio livre submerso e em superfície. Além disso, o impulso de nado atado

em estilo livre, calculado a partir da integral entre a força de nado e o tempo, se mostrou reprodutível ($r = 0,93$; $p < 0,05$) e correlacionado com o desempenho de nado em 200 ($r = 0,86$; $p < 0,05$) e 400m ($r = 0,63$; $p < 0,05$). O modelo de avaliação em nado atado se mostrou sensível aos efeitos de um polimento de onze dias pós treino de oito semanas e meia, apresentando melhora de 3,6% na força de nado, concomitantemente com o aperfeiçoamento no desempenho de 200m (1,6%) mensurado através da velocidade média durante o percurso (PAPOTI; MARTINS; et al., 2007).

Recentemente, em nosso laboratório, foi desenvolvida uma aplicação do sistema de natação atada para o modelo animal. A força de nado realizada pelo animal para se manter na superfície contra uma resistência imposta através de um elástico foi mensurada utilizando uma célula de carga. Até então, o modelo foi bem sucedido na avaliação da máxima fase estável de lactato em ratos wistar (DOS REIS et al., 2011).

2.2 Corrida semi-atada

Em nosso laboratório foi desenvolvida uma adaptação do sistema de aquisição de sinais utilizado na ENM para a avaliação em pista (LIMA, M. C. et al., 2011). Chamado de corrida semi-atada (CSA), o modelo utiliza a célula de carga acoplada a uma bobina contendo 150 metros de cabo de aço inextensível para a mensuração da força realizada em corrida. O protótipo leva o avaliado a correr no sentido oposto da estrutura no qual o sistema está instalado, desenrolando o cabo de aço (figura 2). Freios instalados à bobina possibilitam a adição de resistência ao sistema durante a avaliação. A velocidade empregada durante a corrida é avaliada através de um sensor ótico que mede o deslocamento angular da bobina ao longo do tempo durante o teste, que é então convertida em velocidade linear.

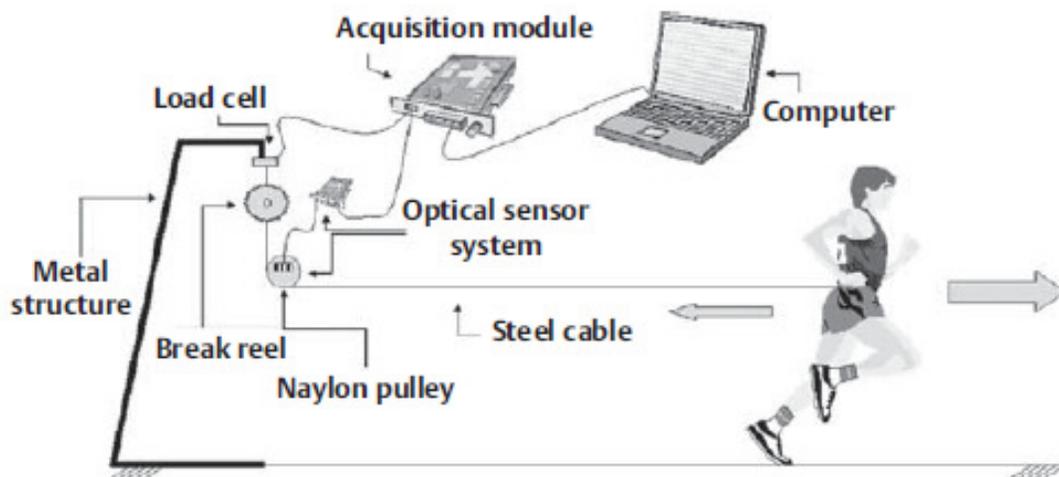


Figura 2 – sistema de corrida semi-atada (retirado de Lima e colaboradores, 2011).

As potências pico e média obtidas durante corrida de 25 segundos em CSA se mostraram significativamente mais elevadas na comparação com aquelas observadas para o teste de Wingate em cicloergômetro. Apesar disso, os valores absolutos se mostraram altamente relacionados entre os dois ergômetros ($r = 0.82$ para ambos os casos). O comportamento da potência ao longo do tempo se assemelhou bastante entre os dois protocolos, embasando a idéia de que os dois testes estão mensurando um constructo semelhante, apesar das diferenças de magnitude.

A justificativa do emprego do sistema semi-atado se baseia na alta especificidade de avaliação para corredores em pista. De fato, a mensuração da potência através do modelo de CSA apresentou mais elevada correlação com a velocidade em corrida de 300 metros do que o teste em cicloergômetro, fortalecendo o pressuposto de que o padrão de movimento não específico reduz as relações do resultado encontrado no teste com o desempenho (LEGAZ-ARRESE et al., 2011).

A reprodutibilidade em uma avaliação de teste e re-teste dos dados de potência pico e média para esse protótipo de corrida semi-atada foi considerada alta, com coeficientes de variação e índices de correlação intraclasse de, respectivamente, 4.8% e 0,89 para potência pico e 4,7% e 0,88 para potência média.

À parte, ambos os testes de potência não apresentaram relação alguma com a capacidade anaeróbia mensurada através do teste de MAOD, levantando evidências que fortalecem a dissociação entre essas duas características do metabolismo anaeróbio.

O protótipo consiste na primeira aplicação de campo do sistema de aquisição de sinais análogo ao da corrida atada em laboratório. A transferência da avaliação para uma situação de corrida dinâmica no local onde são realizados treinos e competições por parte do atleta pode aumentar a especificidade da avaliação, aproximando os protocolos de teste da realidade de corrida experimentada por velocistas. Além do mais, a aplicação de avaliações usando o protótipo de pista apresenta a possibilidade da incorporação da avaliação constante dos indivíduos sem a interrupção dos seus programas de treinamento, podendo inclusive ser incorporado à periodização junto com outros exercícios específicos de pista.

Por si só, a abordagem elimina o atrito observado na esteira e inexistente na condição de corrida livre em pista, e ainda pode aproximar a cinemática da avaliação à da observada em corrida livre uma vez que não oferece o suporte de uma superfície fixa, como uma parede, para o avaliado. Apesar das vantagens, uma resistência a mais ainda precisa ser imposta ao indivíduo para impedir uma aceleração demasiada do desenrolar da bobina, entretanto esta pode ser controlada pelo avaliador.

Com a aplicação da CSA, algumas desvantagens foram observadas no protótipo até então sugerido. Primeiramente, a duração das avaliações é limitada pelo espaço em linha reta disponível. Isso levou a necessidade da imposição de uma resistência muito elevada (18% da massa corporal) para aumentar o tempo de esforço durante a corrida, mesmo assim necessitando reduzir a avaliação de 30 para 25 segundos. Essa característica impossibilita a realização de protocolos de vai e vem como o RAST ou a utilização por maiores durações, como protocolos incrementais.

Além disso, no protótipo proposto foi utilizado um sistema de frenagem que utilizava uma cinta de couro, sujeita a desgastes e deformações, provocando um

atrito variável. Outro fator limitante do protótipo sugerido para aplicação da CSA é o ruído mecânico provocado no sinal da célula de carga causado pela oscilação do cabo, que aumenta na medida em que o atleta se afasta do sistema e aumenta o tamanho do cabo de aço. Nos modelos onde o tamanho do cabo de aço é constante, qualquer possível oscilação pode ser considerada randômica e sistemática independentemente do tempo de duração do teste (LIMA, M. C. S., 2007).

Um novo protótipo está sendo proposto no presente estudo, com a intenção de superar algumas das limitações anteriores e buscando manter as vantagens de aumento de especificidade na avaliação de corredores, bem como a praticidade de avaliação sem a necessidade do deslocamento dos atletas para o laboratório.

3 Metodologia

3.1 Amostra

Dez estudantes universitários saudáveis do gênero masculino ($19,8 \pm 2,1$ anos; $72,3 \pm 6,8$ kg; $1,79 \pm 0,19$ m, $9,8 \pm 5,1$ %g), que relataram ser ativos, porém não engajados em nenhum programa de treinamento sistematizado no momento do estudo foram voluntários para as avaliações. Além deles, também voluntariamente, nove atletas do gênero masculino ($20,1 \pm 1,9$ anos; $68,46 \pm 6,18$ kg; $1,78 \pm 0,05$ m; $4,44 \pm 1,18$ %g) especializados em corrida de sprint com 100, 200 ou 400m e que participam de competições em nível nacional por pelo menos dois anos fizeram parte da amostra estudada. A inclusão voluntária de todos os participantes no estudo foi atrelada ao seu consentimento por escrito através de um termo livre e esclarecido, onde o voluntário foi informado previamente de todos os procedimentos aos quais se submeteria e possíveis riscos à sua saúde durante as avaliações. Todos os procedimentos realizados fazem parte do projeto submetido a um comitê de ética em pesquisa com humanos local (CEP-IB-UNESP n°: 3527 de 05/06/2009).

3.2 Procedimentos gerais para coleta de dados

Antes de qualquer procedimento, os voluntários de ambos os grupos foram submetidos a uma avaliação antropométrica visando à caracterização da amostra. Um aquecimento padrão foi adotado para todas as sessões de teste, consistindo de seis minutos de corrida em intensidade moderada (7 km/h para testes de laboratório e selecionado subjetivamente para os testes em campo). Após a corrida contínua foi requisitada três acelerações breves (~2s) por parte do avaliado, seguidos de dez minutos de descanso passivo.

Os procedimentos de coleta de dados apresentados no presente estudo foram divididos em duas etapas. A primeira etapa visou o cumprimento do primeiro objetivo específico e foi realizada com o grupo de indivíduos ativos, com a

finalidade de acessar e comparar a reprodutibilidade do sistema de corrida atada em laboratório e o sistema de corrida semi-atada em campo. Além disso, foi analisada a relação entre medidas de desempenho e os dados oriundos de cada um dos sistemas.

Durante a realização da segunda etapa, a comparação do RAST com um dos sistemas de elevada sensibilidade de aquisição de sinais foi realizada. Uma vez que o sistema de corrida semi-atada viesse a falhar em termos de reprodutibilidade ou relação com desempenho, seria utilizada a corrida atada em laboratório para comparação com os dados obtidos pelo protocolo de RAST em corrida livre. Visto que uma das justificativas da criação do protocolo de RAST é seu emprego em campo, com a confirmação da reprodutibilidade e validade do CRV optaremos por realizar a comparação das duas ferramentas aplicadas em campo, padronizando esse fator e evitando uma possível discussão sobre as diferenças entre variáveis obtidas em campo e em laboratório.

3.2.1 Protocolos de avaliação

As avaliações com o grupo de estudantes foram realizadas em duas sessões, sendo uma na situação de corrida atada na ENM e outra em corrida semi-atada, utilizando o CRV. Em ambas as situações, após o aquecimento, os avaliados realizaram uma corrida de 35 metros em situação de campo livre, que posteriormente foi utilizado como medida de desempenho.

Além da corrida livre, o procedimento de testes de cada sessão constituiu-se de duas corridas buscando a velocidade máxima com duração de trinta e cinco metros, com trinta minutos de intervalo entre elas, sendo cada sessão em um ergômetro diferente. As corridas nas situações livre e semi-atada foram realizadas em um corredor de cinquenta metros contínuo com piso sintético emborrachado.

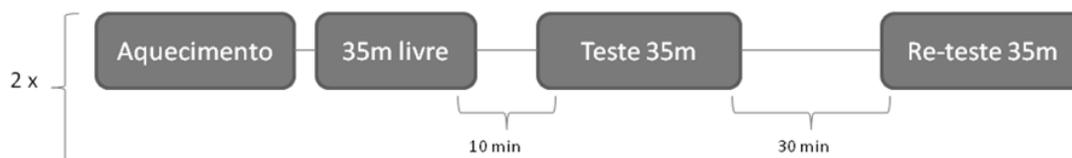


Figura 3 – desenho experimental 1ª etapa;

Para ambos os grupos avaliados, quando necessário os tempos de corrida em situação de corrida livre e semi-atada foram registrados por meio de um sistema de fotocélulas (Speed Test 6.0 standard, CEFISE, SP - Brasil).

Ao final da primeira etapa, uma vez que o CRV apresentou reprodutibilidade razoável e boa relação com desempenho, este foi utilizado na segunda etapa. Para o grupo dos atletas o procedimento de testes totalizou-se de duas sessões, onde foi seguido o protocolo do RAST nas condições de corrida livre e semi-atada. Após cada esforço, microcoletas de sangue foram realizadas através do lobo da orelha de um e um minuto até o décimo e de dois em dois até o vigésimo minuto (figura 4). Os testes foram realizados no período do dia onde os atletas comumente treinam, e foi requisitado que os avaliados mantivessem a mesma rotina de alimentação e sono. Entre cada sessão de teste foi dado um intervalo de pelo menos 24h.

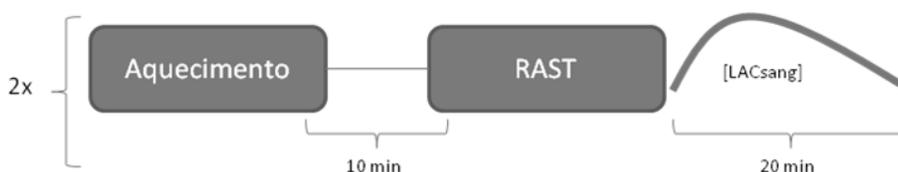


Figura 4 – Desenho experimental da segunda etapa;

O protocolo do RAST consiste em uma série de *sprints* repetidos em linha reta, onde o atleta deve percorrer seis corridas de trinta e cinco metros na máxima velocidade possível, com descanso passivo de dez segundos entre cada uma delas. Cada corrida subsequente acontece no sentido oposto da anterior (figura 5).

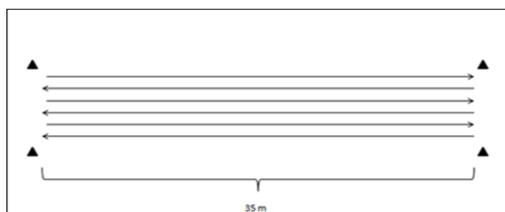


Figura 5 – trajetória de corridas em *sprint* durante o protocolo de RAST, onde cada uma das corridas é realizada em máxima intensidade e com um intervalo de 10s entre elas.

As avaliações do grupo de atletas foram realizadas em pista de atletismo com piso sintético. Na realização do protocolo de RAST as fotocélulas foram distribuídas ao início do percurso e ao final dos 35m, e o cronômetro foi disparado no momento de passagem pela primeira fotocélula. Além do cálculo da velocidade na situação de corrida livre, as fotocélulas utilizadas durante o protocolo de RAST foram utilizadas na situação de corrida semi-atada para a comparação entre esse sistema e o sensor de deslocamento do CRV. A medição das distâncias para posicionamento das fotocélulas foi realizada através de medidor de distâncias analógico com precisão de 0.1 metro (Vonder, PR - Brasil).

3.2.2 Variáveis a serem analisadas

Para as avaliações de reprodutibilidade, as corridas de 35 metros tiveram suas variáveis de força, velocidade e potência avaliadas em termos de média ao longo de toda a corrida, de pico, determinado como o maior valor a cada milésimo de segundo, e máxima, estipulada através do maior valor das médias a cada segundo dos dados obtidos. O tempo para concluir a corrida de 35 metros em condição livre foi adotado como medida de desempenho para a amostra estudada.

Durante o emprego do RAST na condição semi-atada, foram analisadas as médias dos sinais obtidos durante a cada uma das seis corridas, para posterior comparação com os dados calculados através da equação de potência oriunda do protocolo original (equação 1 da revisão de literatura). Para a situação de corrida livre, as potências médias de cada tiro foram calculadas apenas a partir da equação. Para ambas as situações de corrida, dentre os valores de potência média de cada tiro, o maior valor foi adotado como potência pico, a potência média do teste foi calculada como a média dos valores dos seis tiros e o índice de fadiga como a relação percentual entre a soma das potências dos seis tiros e a potência ideal, sendo essa última equivalente a potência pico vezes seis (equação 4 da revisão de literatura).

Após o emprego do RAST, foram coletadas amostras de sangue através de capilares heparinizados, armazenadas em microtubos tipo eppendorf contendo 400 µL de ácido tricloroacético. As amostras foram posteriormente analisadas através do método de espectrofotometria para determinação da presença de lactato. Para esses protocolos foram coletados 25µl de sangue do lóbulo da orelha nos momentos pré-teste, a cada um minuto até o sexto minuto pós-teste e a cada dois minutos entre o sexto e vigésimo minuto pós-teste. A concentração de lactato sanguíneo pico ($[\text{lac}]_{\text{pico}}$) e o tempo até atingir a concentração pico ($T[\text{lac}]_{\text{pico}}$) foram mensurados, e um ajuste biexponencial foi aplicado à cinética de lactato (Eq. 5), resultando em duas constantes relacionadas a velocidade de entrada (k_1) e saída (k_2) do lactato na corrente sanguínea, bem como o conteúdo de lactato produzido no compartimento extravascular (A).

$$\text{BLC}(t) = (A \cdot k_1) / (k_2 - k_1) * (e^{-k_1 * t} - e^{-k_2 * t}) + \text{BLC}_0 \text{ (Eq. 5)}$$

Onde:

BLC = concentração sanguínea de lactato

t = tempo

BLC_0 = concentração sanguínea inicial de lactato

3.3 Esteira não motorizada

Para as avaliações em corrida atada, uma esteira de modelo comercial (ATL, Inbrasports, RS - Brasil) teve seu motor retirado para que a cinta pudesse girar o mais livremente possível. Além disso, a placa que apóia a cinta da esteira foi substituída por 25 rolos de aço com rolamento individual visando reduzir a força de atrito durante o teste. Apesar de se mostrar uma prática difundida, a utilização de motor de torque constante para ajudar na diminuição do atrito não foi empregada devido ao risco relatado na literatura de perda de informação sobre características espontâneas de aceleração e desaceleração do avaliado.

Um poste com duas hastes paralelas foi afixado à parede para a regulação da altura de fixação do dinamômetro, permitindo dessa maneira que o cabo ligado

a ela e à cintura do avaliado seja mantido no sentido mais horizontal possível ao longo dos testes. O comprimento do cabo utilizado foi de 2 metros, o que de acordo com a literatura vem a reduzir os reflexos da variação do centro de massa no sinal da célula de carga durante a corrida (LAKOMY, 1987). O dinamômetro utiliza célula de carga como elemento sensor primário, que gera um sinal em volts (V) correspondente à magnitude da deformação de seus extensômetros. A célula de carga foi utilizada para a captação da força aplicada no sentido horizontal durante a corrida.

Para posterior cálculo da cinética de velocidade imposta pelo atleta à esteira não motorizada (ENM), um imã colocado em seu rolo dianteiro foi utilizado em conjunto com um sensor de efeito Hall preso à lateral do ergômetro, de maneira a registrar um pulso a cada volta completa. Sendo assim, o sinal obtido em uma série de tempo é constituído de um pulso a cada 24 centímetros de deslocamento linear da cinta da esteira.

Estudos anteriores realizados no nosso laboratório atestaram uma reprodutibilidade aceitável para os dados oriundos desse sistema de aquisição de sinais (RIBEIRO et al., 2013).

3.4 Carro de resistência variável

Durante as avaliações em corrida semi-atada foi utilizado o carro de resistência variável (CRV) para a mensuração direta da força e velocidade, uma vez que o CRV permite a mobilidade do sistema de aquisição de sinais (Figura 6). O atleta corre atado ao CRV através de um cinto de tração, comumente utilizado em treinos de corrida com carga, e um cabo de aço que puxa o sistema ao longo da pista durante o teste. Esse tipo de avaliação tem sido denominado em nosso laboratório de corrida semi-atada, uma vez que apesar de estar atado a uma resistência não existente na corrida livre, o indivíduo se desloca na pista durante o teste.

De forma análoga ao sistema da ENM, o sistema de aquisição de sinais do CRV conta com um dinamômetro e um sensor de deslocamento. O cabo de aço

puxado pelo avaliado tem o mesmo tamanho do utilizado na ENM e é conectado ao dinamômetro, permitindo a mensuração da força de arrasto aplicada no sistema. Em seu eixo dianteiro, o CRV conta com um poste de altura regulável para a fixação da célula de carga (figura 7F), de maneira a aproximar a orientação do cabo da horizontal independentemente da altura do avaliado.

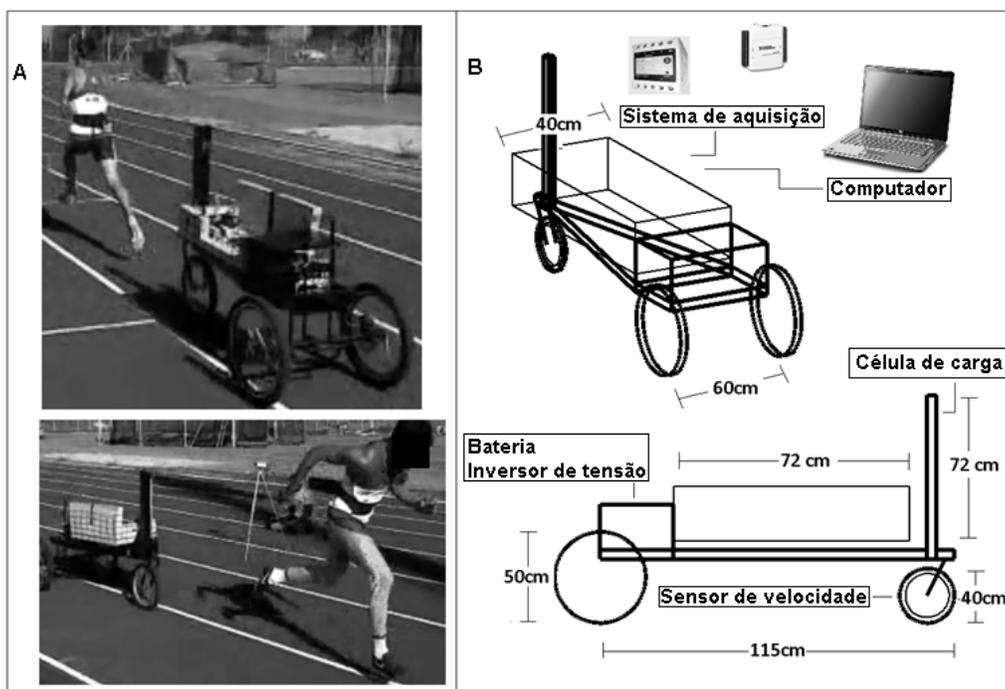


Figura 6 – especificações de tamanho e aplicação do CRV.

A medição da velocidade pelo CRV tem como base a relação entre o deslocamento do protótipo em uma escala de tempo. O aro da roda dianteira é equipado com quatro ímãs posicionados de maneira equidistante, e o sensor de efeito Hall foi afixado ao seu garfo dianteiro, podendo assim capturar e enviar ao computador um pulso a cada vez que um dos ímãs passa por ele.

Como fonte de energia, o protótipo é equipado com uma bateria de 45 ah e 12V (figura 7 - D), que através de um inversor de tensão alimenta todo o sistema de aquisição de sinais, dando autonomia de aproximadamente 6 horas a parte elétrica do protótipo.

O CRV possui um sistema de frenagem a disco nas duas rodas (figura 7 - C e E) para a regulagem da resistência a ser vencida pelo atleta. A carga definida para o teste é posicionada em um sistema de polia fixa que permite a calibração da resistência do freio. O sistema é ajustado à máxima resistência possível e o avaliador gradativamente libera a tensão nos discos até o momento em que o protótipo é deslocado. A tensão anterior à necessária para deslocar o CRV é afixada no sistema de frenagem.

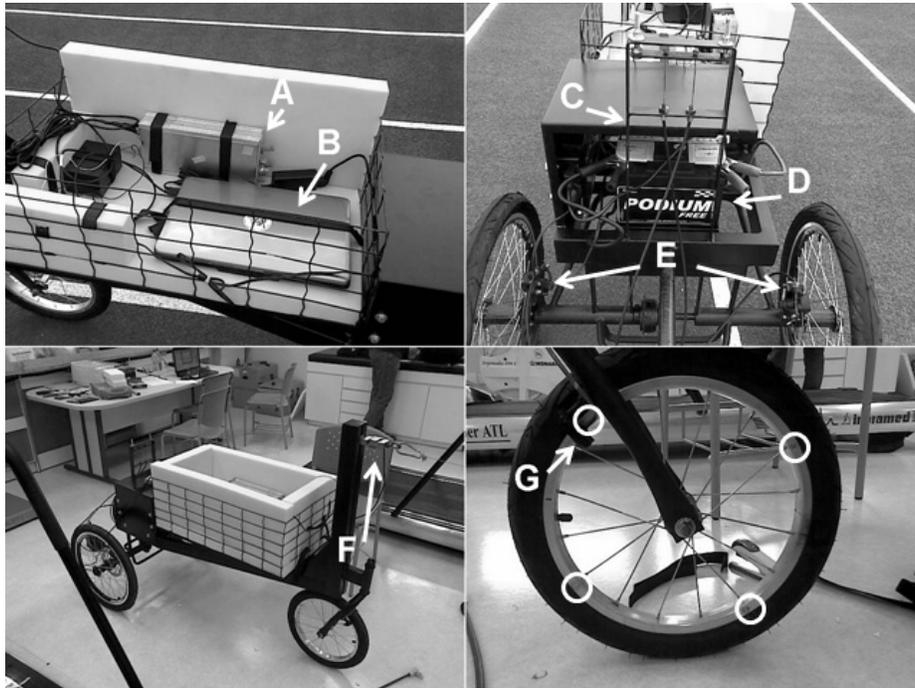


Figura 7 – Protótipo do CRV com todo o sistema de coleta; O amplificador para o sinal da célula de carga [A], o notebook com o programa de aquisição de sinais [B] o sistema de frenagem simultânea [C], a bateria para alimentação dos eletrônicos [D], os freios a disco nas duas rodas traseiras [E], o dinamômetro para aferição da força [F], o sensor de efeito Hall no eixo dianteiro [G] e os ímãs eqüidistantes no aro (em destaque) para medição da velocidade.

A resistência aplicada ao CRV durante o teste se faz necessária para evitar que através da aceleração aplicada o protótipo adquira uma velocidade superior à do avaliado, comprometendo a mensuração dessa variável. A situação de aceleração demasiada por parte do CRV também impediria a mensuração

contínua da força pelo sistema, uma vez que existe a necessidade do cabo estar tensionado durante todo o teste.

Uma intermitência é esperada na aplicação de força durante a corrida, inerente às características de contato com o solo decorrentes do ciclo de passadas, porém a aplicação de uma resistência permite que ambas as variáveis, força e velocidade mensuradas pelo CRV sejam fiéis aquelas realizadas pelo atleta durante a avaliação. Um teste piloto realizado em nosso laboratório demonstrou que durante corridas buscando a velocidade máxima, cargas inferiores a 9% do peso corporal proporcionavam no sinal de força intervalos maiores do que a frequência de passada do avaliado durante a corrida, e por isso para todas as avaliações essa foi a carga estabelecida.

3.5 Calibração dos sensores

Antes de cada coleta de dados, a célula de carga foi calibrada com pelo menos dez cargas conhecidas, e foi checada a pressão dos pneus do CRV para manutenção do deslocamento padrão entre cada um dos pulsos do sinal de deslocamento em diferentes sessões de coleta.

A célula de carga emite um sinal referente à sua deformação, que é amplificado e modulado para armazenamento em computador através de software específico (LabView Signal Express 2.0, National Instruments, EUA). O módulo de aquisição de sinais registra um sinal em Volts (V), que uma vez coletado precisa ser convertido para unidades de força. Esse processo acontece analogamente à calibração do sistema de frenagem, onde utilizando um sistema de polias é possível realizar a medição do sinal registrado pelo posicionamento de pesos conhecidos.

Anilhas de metal são previamente pesadas em balança com 0,01 kg de precisão e estaticamente posicionadas no sistema de calibração. A força peso atuante sobre as anilhas é equivalente à sua massa multiplicada pela aceleração da gravidade ($g = 9,806 \text{ m/s}^2$). A relação entre o sinal registrado pela célula de carga e a força peso é linear, sendo testada dentro da amplitude de força

comumente observada para a corrida atada (figura 8). Logo, através de análise de regressão é possível obter uma equação de conversão de qualquer sinal obtido pela célula de carga de V para Newtons (N). Uma vez que a resposta da célula de carga é sensível a condições de umidade e temperatura esse procedimento é realizado no local onde serão aplicados os testes e o mais próximo possível ao momento do início das avaliações.

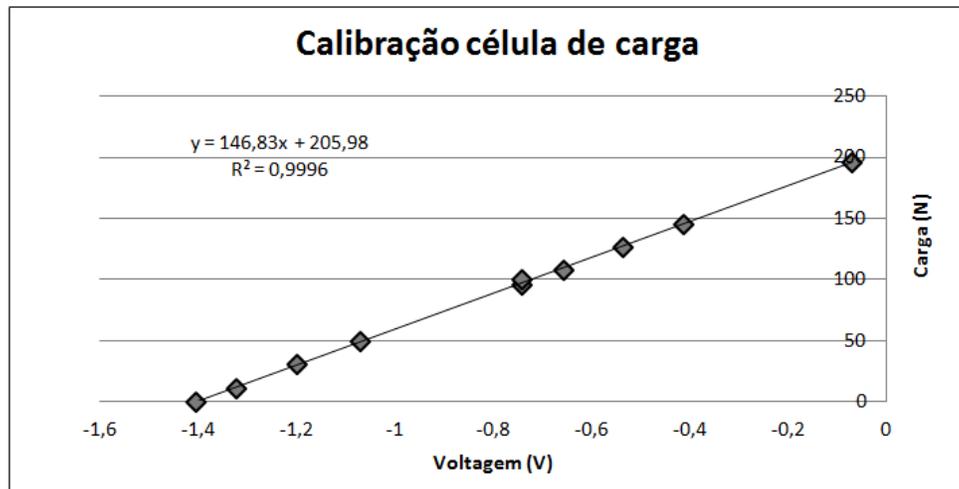


Figura 8 – reta de calibração entre o sinal em volts e a massa correspondente em kg.

Para a conversão dos sinais de deslocamento em velocidade, o sinal que registra o deslocamento angular do rolo dianteiro da ENM e da roda dianteira do CRV foi convertido para deslocamento linear e derivado em função do tempo. Cada volta completa do rolo dianteiro da ENM é equivalente a 24 centímetros de deslocamento linear da cinta da esteira.

Para a manutenção da circunferência do pneu dianteiro do CRV, uma calibração padrão de 30psi foi adotada, o que dá à roda um diâmetro igual a 40 cm, ou 125,6 cm de circunferência. Uma vez que os quatro imãs da roda dianteira foram afixados de maneira equidistante, cada um dos pulsos do sinal de deslocamento registra o momento em que foram realizados 31,4cm de deslocamento linear pelo CRV.

3.6 Análise dos sinais

Ambos os sinais, o de deslocamento da roda dianteira e o de deformação da célula de carga foram convertidos para velocidade e força através de rotinas matemáticas construídas em ambiente MatLab (MatLab 7.0, Mathworks Inc, EUA).

Uma vez identificadas interferências que comprometiam a característica contínua do sinal capturado pela célula de carga, antes de qualquer análise foi necessário a seleção do filtro adequado para suavização do sinal. Através da transformada rápida de Fourier, foi selecionada a faixa de frequência de corte que preservaria as características do fenômeno capturado. O filtro utilizado em todos os testes foi um passa baixa, Butterworth de quarta ordem, com frequência de corte de 10 Hz.

Devido à característica intermitente de aplicação de força durante a corrida, o sinal capturado pela célula de carga apresenta uma série de vales e picos (figura 9). Após aplicação do filtro, a rotina foi programada para encontrar os pontos onde o sinal da célula de carga mudava de vetor, identificando assim os pontos extremos dentre seus vales e picos. A rotina foi programada para identificar o primeiro ponto de pico onde o valor de sua diferença para o vale que o antecedia representava uma magnitude igual ou maior a sessenta por cento da maior diferença entre qualquer vale e seu pico subsequente, assim levando em consideração que o primeiro pico poderia não ser o maior dentre os picos do sinal. Esse foi definido como o primeiro pico de força realizado pelo indivíduo, e a sua origem definida como início do teste. Por estar sincronizado na mesma linha de tempo do que o sinal do sensor de efeito hall, esse momento também foi definido como o início do teste para o sinal de deslocamento. Em seguida, a reta de calibração construída para cada um dos dias de teste foi inserida na rotina para conversão dos dados de volts para Newtons.

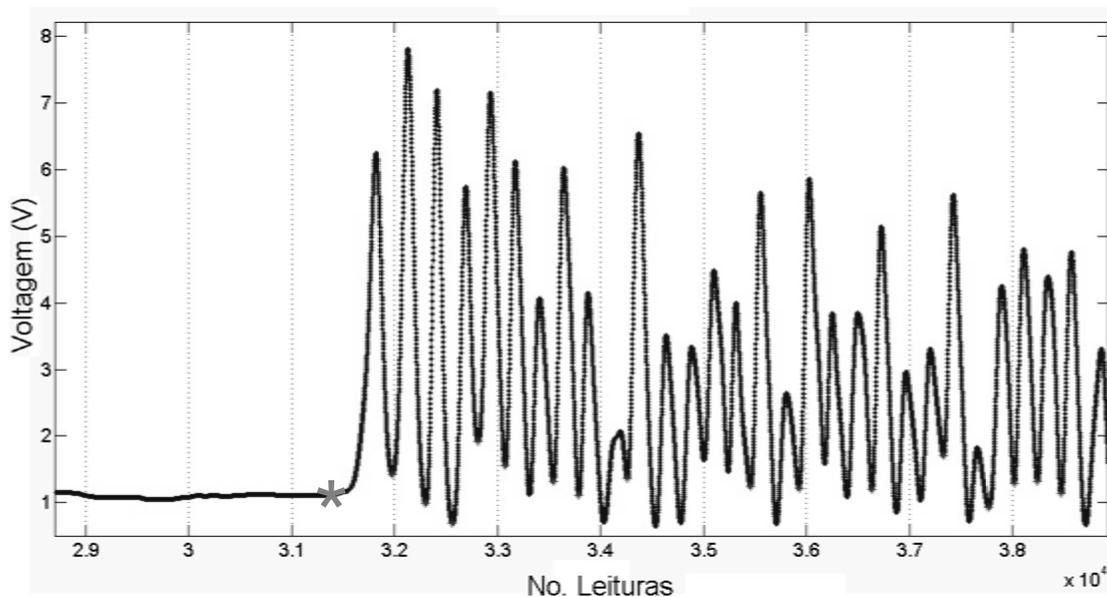


Figura 9 – Exemplo do sinal de força registrado na ENM com os momentos de vale que precedem picos bruscos marcados. O primeiro vale marcado com asterisco foi definido como início do teste;

Definido o início do teste através do sinal da célula de carga, para conversão do sinal de deslocamento em velocidade a rotina foi programada para identificar os momentos de pulso, uma vez que esse se trata de um sinal binário. Cada um dos pulsos é equivalente a 24 cm de deslocamento na ENM e 31,4 cm no CRV. Com os valores de intervalo de tempo entre cada um dos pulsos identificado, a velocidade média entre cada pulso foi calculada e atribuída ao instante médio entre cada pulso. O sinal de velocidade obtido tem frequência de amostragem variável e dependente da velocidade instantânea imposta à cinta da esteira. Por isso, os dados de velocidade foram interpolados através de uma função spline para adquirir uma frequência equivalente ao sinal de força (figura 10), permitindo assim o cálculo da potência através do produto direto entre força e velocidade.

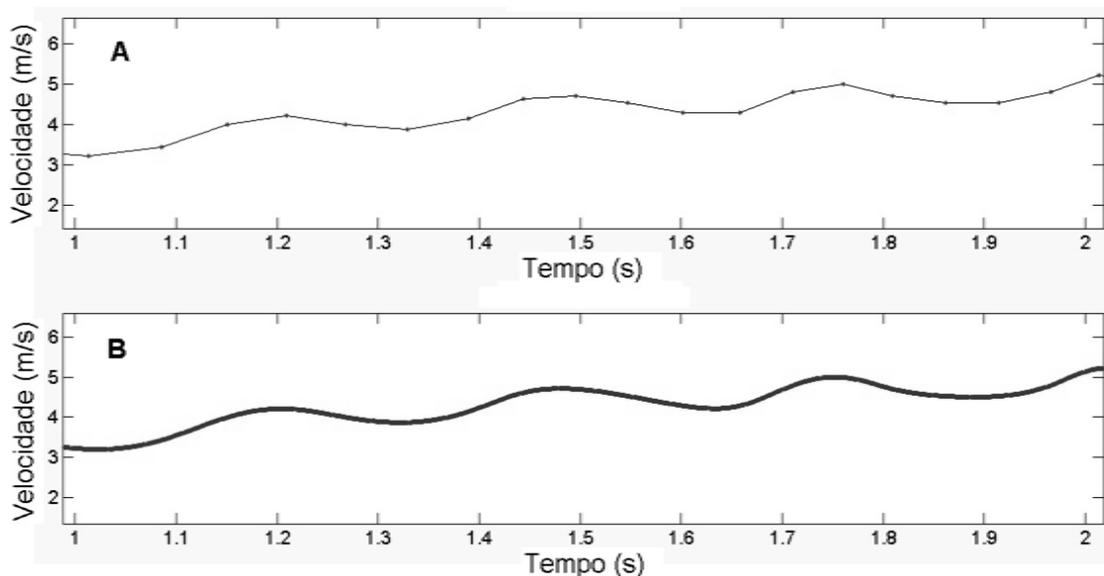


Figura 10 – exemplo do comportamento da velocidade desenvolvida na ENM durante aproximadamente 1 segundo, com frequência de aquisição original (A) e dados interpolados para 1000 Hz (B).

3.7 Análise estatística

Para a verificação da normalidade e homoscedasticidade dos dados, foram empregados os teste de Lilliefors e Levene, respectivamente. Os dados foram apresentados em termos de média e desvio padrão para a descrição dos parâmetros de tendência central e dispersão. Para todos os conjuntos de dados foi confirmado o comportamento normal e homogeneidade, e por isso foram adotadas estatísticas paramétricas.

Foram realizados testes de ANOVA two way para medidas repetidas entre os parâmetros da CA e CSA, com fatores para 'ergômetro' e 'tentativa'. Quando necessária análise Pos-hoc, o teste LSD de Fisher foi adotado. Testes T de Student foram aplicados quando necessários a realização de teste de hipótese em situações que envolviam apenas dois grupos.

A relação entre os parâmetros mensurados foi verificada utilizando índices de correlação intra e interclasse quando os conjuntos de dados apresentavam mesma unidade de medida e variância, e correlação r de Pearson caso contrário.

As análises estatísticas foram realizadas no software Statistica 6.0 (Statsoft, EUA), SPSS 16.0 para Windows (SPSS Inc., EUA) e MatLab 7.0. Para todos os testes de hipótese realizados foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$.

4 Resultados

Com finalidade de apresentação, os resultados foram divididos em dois estudos, que seguem na íntegra abaixo.

4.1 Estudo 1

Field measures of horizontal force, velocity and power in sprint by the semi-tethered running system and comparisons with laboratory tethered run data

Abstract

Objectives: To investigate the reliability and performance correlations of a new system proposed to evaluate the horizontal force, velocity and power development during field sprinting. **Design:** Ten college students underwent two 35 meters sprints in two different conditions: laboratory tethered running (TR) and field semi-tethered running (STR). A free running sprint (FR) on the field was used as a performance measure. **Methods:** Firstly, TR and STR data on horizontal power, force and velocity were compared regarding magnitude and re-test reliability. Secondly, data relationships with FR were accessed for both ergometers. **Results:** A two-way ANOVA for repeated measures found differences for almost all parameters in the 'ergometer' factor but not for the 'trial' factor. Small re-test CV values for TR (1.6 - 15.6%) and STR (3.9 – 12.0%), combined with a generally high ICC attested a good consistency between re-test for both ergometers. Data differences between ergometers maintain consistence in their relative parameters ($r = 0.63 - 0.81$; $p < 0.05$) but not in the absolute. This is attributed to the hypothesis of a body mass influence on the load cell for the TR condition ($r = -0.74$; $p = 0.02$), which can be responsible for the lack of relationship between TR' force parameters and FR. Almost all STR parameters including relative force showed a significant relationship with FR ($r = 0.65 - 0.75$). **Conclusion:** STR proved to have good reliability and performance predictive validity, being a dynamical testing process

which can be developed on a synthetic track without interfering in the athletics training program.

Keywords: Exercise; Athletic Performance; Track and Field; Sports Equipment; Running Force; Running Velocity; Running Power;

Introduction

The evaluation of power development during sports activities is important to clarify the search for optimum performance. Despite the pervasive use of the cicloergometer Wingate test for power evaluation in activities lasting 10 to 40 seconds, its sensibility for running purposes is questionable (BAKER, J. S.; DAVIES, 2002). Tethered running gained the attention of sport researchers and has been used as a tool in training programs and performance testing due its high ecological validity for running sports testing.

The tethered running (TR) system was proposed during the mid 80's by a group from the University of Technology of Loughborough, England (CHEETHAM et al., 1986; CHEETHAM et al., 1985; LAKOMY, 1987). Using a non-motorized treadmill (NMT) to emulate free running situation, drag force and belt velocity were measured by means of a force transducer mounted on the rear cross bar fixed to the treadmill and a pulse generator on the front rolling drum. This way, horizontal power was calculated as the direct product between force and velocity measured. Since then, TR validity were proved using comparisons with free running performance and the cicloergometer Wingate test, so far considered the 'gold standard' for power assessment in sports (BAKER, J. et al., 1993; CHIA; LIM, 2008). Also, TR reliability was attested over retest investigations presenting coefficients of variation between 5 - 10% for most force and power parameters (HOPKER et al., 2009; HUGHES et al., 2006; LIM; CHIA, 2007).

Regarding the cyclergometer, using a NMT improves the specificity of running evaluation (CHIA; LIM, 2008) and also brings running kinematics closer to over-ground run than a conventional treadmill (MCKENNA; RICHES, 2007). Even so, there still differences among TR and free running with respect to parameters as

hip angle during the toe-off (MCKENNA; RICHES, 2007), and a lower peak velocity for TR (CHELLY; DENIS, 2001; JASKOLSKA et al., 1999). Those differences can impair TR parameters relationships with performance.

Despite TR power and velocity correlations with free running performance (FR) was already found (BAKER, J. et al., 1993; CHELLY; DENIS, 2001; TSUCHIE et al., 2008), direct relationships between horizontal force measured and FR performance was only clear recently, with the use of a force platform in a NMT (MORIN et al., 2011). Horizontal force and FR has an intuitive relationship based on the body propulsion forwards, and we speculate that this relationship have been clouded by the classical TR system by an influence of the body weigh over the drag force measured with the load cell, since the sprint is performed statically with the support of a fixed surface as a wall.

Over the hypothesis that the ecological validity in runner's testing could be even more enhanced, recently a new apparatus was presented by our laboratory as a track application for the TR system (LIMA, M. C. et al., 2011). Instead of trying to simulate in laboratory the maximum velocity attained on the track, the idea is to transport the TR laboratory system to field evaluation. Called semi-tethered running (STR), the first prototype consists of a robust metal structure fixed to the ground, equipped with a nylon pulley enclosing 150m of an inextensible steel cable and a mechanical brake. That way, athletes can perform an all-out sprint dynamically on the track and have their velocity and force development monitored by an optical pulse sensor and a load cell.

When compared to the cicloergometer Wingate test, the new system presents good relationships between peak ($r = 0.82$, $p < 0.01$) and mean power ($r = 0.82$, $p < 0.01$), and as expected, the STR presents stronger correlations ($r = 0.81 - 0.94$) with FR than the Wingate test ($r = 0.68 - 0.84$) (LIMA, M. C. et al., 2011).

Understanding a possibility to overcome some of the limitations so far presented by the STR system, as the need of a large straightforward space and the sensitivity of the brake system, a new apparatus called semi-tethered module (STM) was developed in our laboratory using the same principle: to monitor the

development of force and velocity during field sprinting. Comparisons of the STR with the widespread TR are still needed to investigate its applicability.

The aims of this study were to investigate the test-retest reliability of performance parameters derived from all out STR test and the concurrent validity of this new evaluation system against TR. Additionally, we addressed the relationships between data obtained in the above ergometers and sprint running performance.

Methods

Ten healthy male college students (19.8 ± 2.1 yrs; 72.3 ± 6.8 kg; 1.79 ± 0.19 m; 9.8 ± 5.1 %Bf) volunteered to participate in this investigation under written consent. The volunteers reported to be recreationally active in different sporting modalities, and were requested to maintain the same food intake and to not perform strenuous activities at least 48 hours before testing sessions. The experimental design of the study was approved by the Committee for Ethics in research involving humans from Sao Paulo State University (CEP-IB-UNESP no.: 3527 05/06/2009) and complies with the ethical and procedural requirements of the declaration of Helsinki.

A total of two sessions were performed to assess STR and TR reliability. The college students underwent two 35m sprint trials with a 30 minutes interval, being each session in a different running condition. The sessions were performed 2-7 days apart during similar times of the day. The standard warm-up adopted consists of six minutes running in a moderated intensity (7km/h) at a motorized constant velocity treadmill (WITTEKIND et al., 2012). After this, a brief familiarization was performed consisting of a submaximal walk-run with the ergometer already set to the test, followed by two brief accelerations (~ 2-3 s). Additionally, next to the warm-up a 35m sprint in FR situation was performed in each session and the best time to complete the task was used as a performance measure. Ten minutes of passive rest were given between this and the ergometer testing.

The NMT used in this investigation was specially adapted for sprint force and power measurements from a commercially available model (ATL, Inbrasports, Brazil), with a 56 x 167 cm running belt surface who had its original 4 hp motor removed. The bed of the treadmill was replaced for 25 parallel rolling bars, which was set under the treadmill belt to reduce the belt-bed friction (FUNATO et al., 2001; TSUCHIE et al., 2008). The front rolling drum was equipped with a magnetic sensor providing a pulse every 24.5 cm of linear belt displacement. The volunteers ran attached to their waists by a commercial nylon belt and a 2m inextensible steel cable which was anchored into two vertical rails on the wall behind the NTM. This arrangement permits the support height adjustment to maintain the cable horizontal to the ground irrespective of the volunteer's stature.

The specific apparatus was developed in our laboratory for power evaluation in track running (figure 1). It consists of a robust metal tricycle in which the runner is attached to a pole above its front wheel. Similarly to the NMT, the metal pole allows the height adjustment of a similar steel cable to maintain it in a horizontal orientation. A magnetic sensor was placed at the front wheel axle, capturing a pulse every time one of the four magnets placed in the wheel passes by. Each pulse is equivalent to 31.4 cm of linear displacement of the prototype. The STM is equipped with a battery (45 ah, 12v) and a voltage inverter (12v – 220v) for electrical charging autonomy. A disc brake was placed on each rear wheel to avoid an excessive acceleration from the STM, which happened in a pilot study when resistances lower than 9% of the runner's body mass was used, so this was the resistance adopted for this investigation.

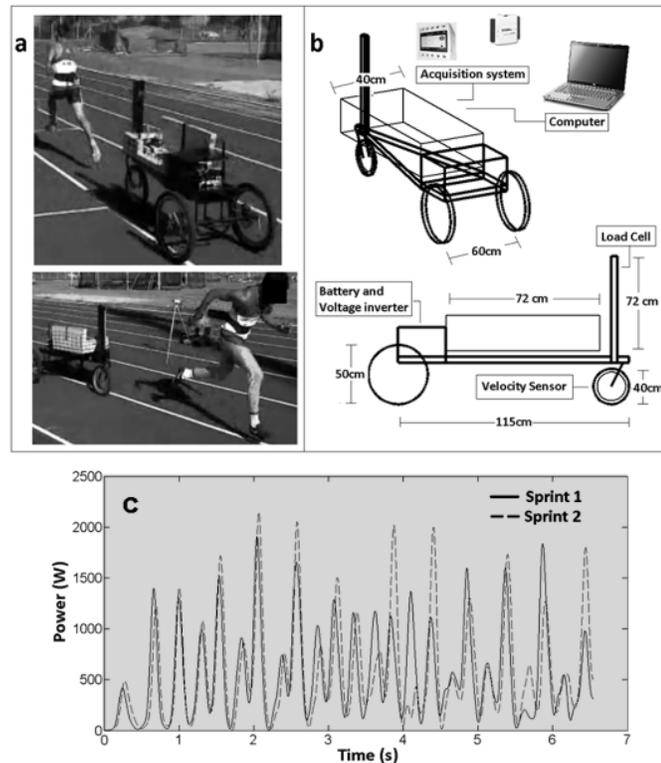


Figure 1 – (a) STR application examples, (b) schematic illustration of the apparatus developed to perform the semi-tethered running, with its dimensions and (c) power signal behavior during the two 35 meters sprint in STR condition.

Force and velocity data acquisition and processing were analogous for both ergometers. A load cell (CSL/ZL-250, MK Controle e Instrumentação Ltda) was placed in the support point where the runners were attached, with its signal amplified and fed into a microcomputer via an A/D converter at a sampling rate of 1 kHz. A Hall Effect sensor was used in order to capture the horizontal displacement of the belt and its signal was monitored by the computer via a second channel of the A/D converter at the same sampling rate of the force signal. Velocity was obtained by differentiating the horizontal displacement of the belt at each 24.5 cm (NMT) and 31.4 cm (STM) and then deriving it via interpolation using a ‘Spline’ function to calculate instantaneous velocity in 1000 Hz. Power was calculated as the direct product from instantaneous force and velocity. To account for noise in the force signal, a low pass fourth order Butterworth filter was applied for

smoothness. A discrete Fourier transform (FFT) was performed for frequency domain analysis and 10 Hz was established as a cutoff frequency that preserves the phenomena.

Power, force and velocity parameters were presented as Instantaneous peak (V_{peak} , F_{peak} and P_{peak}), maximal (V_{max} , F_{max} and P_{max}) and mean (V_{mean} , F_{mean} and P_{mean}). Whereas instantaneous peak account for the highest value over a 0.001s interval, maximal values was selected over the 1 second averages of the signal. Mean parameters was calculated as the mean data acquired over the entire 35m test. Power and force parameters were also calculated relatively to the individual body mass (RF_{peak} , RP_{peak} , RF_{max} , RP_{max} , RF_{mean} , RP_{mean}).

All statistical analysis was carried out using the statistical software SPSS for windows (version 16.0) and the statistical toolkit from MatLab (Mathworks Inc, version 7.0). Analysis of central tendency and spread are presented as mean \pm SD. Data normal distribution and homoscedasticity was verified using Lilliefors and Levene's test. A two-way ANOVA for repeated measures was used using 'ergometer' and 'trial' as main factors. Retest reliability was accessed using the difference in the mean scores (%diff) as well as the coefficient of variation (CV) and its 95% confidence intervals (CI95%) (HOPKINS, 2000). A one way intraclass correlation coefficient for single measures (ICC) with random effects was performed between test and re-test for each ergometer, and was adopted as a measure of relative reliability (MCGRAW; WONG, 1996). Pearson's r interclass correlation was only used to search relationships between parameters who share neither the same metric nor variance. Statistical significance was accepted at $p < 0.05$.

Results

Preliminary data analysis confirms data normality and homoscedasticity. Descriptive data are presented in table 1. ANOVA's p values (table 1) showed no difference for all studied parameters for the 'trial' and difference in all but V_{mean} , F_{peak} and RF_{peak} for the 'ergometer' effect.

The magnitude of the differences between re-test means, expressed as percentage change score for each variable is equivalent for the ergometers, being in some cases slightly smaller for NMT (Table 2). Only peak power, both in absolute and relative terms had a large difference between trials, being higher for NMT than STM (~10% vs ~3%).

In general, CV's tended to be smaller for NMT, but still inside de CI95% when compared to STM (Table 2). As an exception, mean force and power had lower CV scores in NMT than STM. Velocity parameters also tended to present higher reliability than force and consequently power. Nevertheless, power parameters present acceptable CV. Similarities on STR' power developments during re-test are exemplified in figure 1-c.

Altogether, ICC's were significant for STR (ranging 0.55 - 0.82) and TR (ranging 0.56-0.95), with exception of STR's F_{mean} and TR's F_{peak} , RF_{peak} and RP_{peak} .

Table 1. Descriptive data derived from the two ergometers in test and retest, presented as mean \pm SD and ANOVA's p for 'trial' and 'ergometer' factors.

	STR		TR		ANOVA p-value	
	S1 (MD \pm SD)	S2 (MD \pm SD)	S1 (MD \pm SD)	S2 (MD \pm SD)	Trial	Ergometer
V_{peak} (m/s)	7.20 \pm 0.52	7.21 \pm 0.62	6.11 \pm 0.38	6.09 \pm 0.27	0.91	< 0.001
V_{max} (m/s)	6.63 \pm 0.46	6.65 \pm 0.50	5.69 \pm 0.35	5.71 \pm 0.25	0.83	< 0.001
V_{mean} (m/s)	4.98 \pm 0.33	5.01 \pm 0.31	4.71 \pm 0.35	4.69 \pm 0.33	0.90	0.09
F_{peak} (N)	519 \pm 107	555 \pm 143	499 \pm 91	482 \pm 94	0.62	0.33
RF_{peak} (N/kg)	7.22 \pm 1.53	7.75 \pm 2.10	6.93 \pm 1.27	6.69 \pm 1.30	0.61	0.29
F_{max} (N)	176 \pm 18	179 \pm 28	209 \pm 17	206 \pm 20	0.98	< 0.001
RF_{max} (N/kg)	2.46 \pm 0.32	2.50 \pm 0.46	2.90 \pm 0.28	2.86 \pm 0.35	0.94	< 0.001
F_{mean} (N)	120 \pm 12	115 \pm 16	156 \pm 8	156 \pm 8	0.32	< 0.001

RF _{mean} (N/kg)	1.68 ± 0.25	1.61 ± 0.33	2.17 ± 0.18	2.17 ± 0.16	0.36	< 0.001
P _{peak} (W)	1723 ± 376	1670 ± 405	2297 ± 493	2065 ± 420	0.08	0.004
RP _{peak} (W/kg)	24.18 ± 6.61	23.32 ± 6.44	31.87 ± 6.44	28.52 ± 4.61	0.52	0.001
P _{max} (W)	660 ± 75	633 ± 109	882 ± 79	879 ± 67	0.36	<0.001
RP _{max} (W/kg)	9.20 ± 1.39	8.87 ± 2.02	12.28 ± 1.59	12.22 ± 1.15	0.38	< 0.001
P _{mean} (W)	544 ± 65	520 ± 91	717 ± 76	716 ± 73	0.30	<0.001
RP _{mean} (W/kg)	7.58 ± 1.18	7.29 ± 1.68	9.98 ± 1.29	9.95 ± 1.09	0.33	< 0.001

S1- sprint 1; S2 – sprint 2; STR - Semi-tethered running; TR - tethered running;

Table 2. Re-test data analysis for semi-tethered and tethered running re-test data, and its Pearson's r relationship with free running.

	STR				TR			
	%diff	CV (%)	ICC	r - FR	%diff	CV (%)	ICC	r - FR
V _{peak}	0.01	4.0 (2.8 - 7.4)	0.76 ^{&}	-0.70 ^{&}	0.36	2.3 (1.6 - 4.1)	0.84 [#]	-0.58
V _{max}	0.22	3.9 (2.7 - 7.1)	0.74 ^{&}	-0.65 [*]	0.33	2.2 (1.5 - 3.9)	0.85 [#]	-0.64 [*]
V _{mean}	0.71	3.1 (2.1 - 5.6)	0.78 ^{&}	-0.61	0.51	2.3 (1.6 - 4.1)	0.91 [#]	-0.35
F _{peak}	6.47	10.3 (7.1 - 18.8)	0.79 [#]	-0.55	3.29	15.3 (10.6 - 28.0)	0.38	-0.16
RF _{peak}	6.88	10.2 (7.0 - 18.6)	0.80 [#]	-0.68 [*]	3.51	14.9 (10.3 - 27.2)	0.41	-0.42
F _{max}	1.76	9.4 (6.5 - 17.2)	0.79 [#]	-0.31	1.42	5.6 (3.8 - 10.2)	0.64 [*]	0.10
RF _{max}	1.86	9.0 (6.2 - 16.4)	0.70 ^{&}	-0.65 [*]	1.29	5.6 (3.8 - 10.2)	0.76 ^{&}	-0.43
F _{mean}	4.32	9.7 (6.7 - 17.7)	0.34	-0.58	0.04	1.6 (1.1 - 2.8)	0.91 [#]	0.45
RF _{mean}	3.82	9.6 (6.6 - 17.6)	0.71 ^{&}	-0.67 [*]	0.03	1.5 (1.0 - 2.7)	0.97 [#]	-0.55

P_{peak}	3.07	12.0 (8.3 - 22.0)	0.74 ^{&}	-0.60	10.08	12.9 (8.9 - 23.5)	0.56 [*]	-0.08
RP_{peak}	3.57	12.0 (8.3 - 22.0)	0.82 [#]	-0.66 [*]	10.51	12.4 (8.5 - 22.6)	0.46	-0.43
P_{max}	4.17	9.7 (6.6 - 17.6)	0.55 [*]	-0.65 [*]	0.24	4.3 (3.0 - 7.9)	0.75 ^{&}	-0.25
RP_{max}	3.63	9.6 (6.6 - 17.6)	0.75 ^{&}	-0.70 ^{&}	0.49	4.2 (2.9 - 7.7)	0.88 [#]	-0.74 ^{&}
P_{mean}	4.37	10.2 (7.0 - 18.7)	0.52 [*]	-0.68 [*]	0.10	3.0 (2.1 - 5.5)	0.92 [#]	-0.05
RP_{mean}	3.83	10.2 (7.0 - 18.6)	0.73 ^{&}	-0.75 ^{&}	0.30	2.8 (1.9 - 5.2)	0.95 [#]	-0.54

CV is presented as CV (CI95%); CV - within individual coefficient of variation; ICC - intraclass correlation coefficient; CI95% - 95% confidence intervals; r – FR – Pearson's r against time to complete 35m in free running; STR - Semi-tethered running; TR - tethered running; %diff - Difference between means;

* $p < 0.05$; & $p < 0.01$; # $p < 0.001$

Time to run 35 meters in FR condition was used as a performance measure ($5.6 \pm 0.5s$). STR' velocity, relative force and power parameters were significantly and well correlated with performance, with exception of V_{mean} (Table 2). However, in NMT only V_{max} and RP_{max} had significant correlations with performance. A significant positive correlation with body mass was found only for F_{mean} ($r = 0.74$; $p = 0.02$) in NMT, indicating a possible influence in the force measured along the sprint in that ergometer.

Among the two ergometers data, only the relative parameters presented significant relationships for RF_{max} , RF_{mean} , RP_{max} and RP_{mean} (Pearson's $r = 0.63$, 0.81 , 0.78 and 0.68 , respectively; $p < 0.05$), confirming behavior similarities on force and power development between TR and STR.

Discussion

In the present study we investigate the reliability of a new device purposed to evaluate force, velocity and power in track sprinting, in an effort to bring tethered testing closer to the free running situation. A fixed length was used since it is a common task performed by athletic runners, and despite 35m is not the most frequent sprint distance in team sports, lengths up to 30m are also present and needed to attain the all-out maximal velocity observed on different sports activities

as soccer and rugby (DI SALVO et al., 2010; VESCOVI, 2012; WALDRON et al., 2011). Although applying STR to longer distances is currently an object of study in our laboratory, it falls beyond this study aims.

As pointed out by the ANOVA 'ergometer' effect, velocity attained during STR is remarkably higher than TR. This demonstrates a great improvement as a tool for running evaluation, since peak velocity is among one of the major kinetics differences between free sprinting and the classical TR system, being up to 20% lower in the latter even using motor torques to overcome the belt-bed friction (CHELLY; DENIS, 2001; MORIN; SEVE, 2011). Due to the time taken during acceleration phase, the short sprint distance could explain why we can't observe a difference in ANOVA between TR and STR for mean velocities, even STR scores being slightly higher on both trials, and have achieved a bigger peak and maximal velocity.

All force and power measures are significantly higher in TR than STR, with exception of instantaneous peak force (absolute and relatively to the BM). Since it's well demonstrated that the magnitude of power developed in specific ergometers is resistance dependant (DOTAN; BAR-OR, 1983; JASKÓLSKI et al., 1996), this could be the primary cause of the difference found between power parameters. We can't yet assure that 9% BM is the optimal resistance to be used for assessing maximal power during short sprints in the STR.

ANOVA 's 'trial' effect do not present significant differences between trials for the same ergometers in all parameters studied, but that alone does not guarantee the agreement between them (HOPKINS; SCHABORT; HAWLEY, 2001). Additional statistical tools, as %diff and CV show greater discrepancies in instantaneous peak force and power for both ergometers. Data high acquisition frequency used in the current investigation has deteriorated force and power peak reliability as seen before (TONG et al., 2001), so we suggests that, when possible, a lower sensibility should be considered when using an analogous system.

Absolute data reliability of our TR system corroborates with the previous literature. In TR condition, after 2 or 3 familiarization trials Hopker et al (HOPKER et al., 2009) found CV with CI95% overlapping ours for instantaneous peak force

(9.4%) and power (10.1%), and yet poor CV for mean force (7.9%) and power (7.4%). Moreover, the trials were performed in different days and with a smaller data acquisition sensibility (100 Hz). Lim and Chia (LIM; CHIA, 2007) tested TR intraday reliability on a NMT and displays CV for maximal power (4.3%) and mean power (5.0%) similar to ours. Hence, we use our TR system as a reference to access STR re-test reliability.

Along the two ergometers, velocity parameters had the smallest and most alike CV's (table 2). TR showed a tendency to have smaller CV's values in relation to STR, yet only F_{mean} and P_{mean} fall off the CI95%. With a few exceptions, significant ICC's attested a good consistency between re-test in a same ergometer. For STR, only absolute F_{mean} had a non-significant ICC, which is solved when that variable is expressed relatively to the body mass. Correlation coefficients are measures sensitive to the variance of the sample (HOPKINS et al., 2001), so it is possible that the increase in data heterogeneity for the relative measures had improved ICC scores. In TR, the low ICC presented for F_{peak} can be attributed to the extremely high intra individual variability (CV = 15.3%). Thus, an acceptable reliability could be assigned to STR, and we can attribute the slightly better absolute reliability on TR condition to the better environment control in laboratory testing.

The stronger correlations of STR parameters with performance found in our data are a key reinforcement of the presented theory that the adaptation of TR system for track evaluation enhances testing specificity. Performance correlations with power parameters were already found in the past (BAKER, J. et al., 1993; CHELLY; DENIS, 2001; TSUCHIE et al., 2008), but to our knowledge, it is the first time that force production measured by a load cell in a tethered run system is significantly correlated to performance in free running sprint. Thus, it is clear that vertical force manifestation is imperative to perform human locomotion at any speed, but the horizontal force component is mandatory to improve forward velocity (MORIN et al., 2011).

So far, TR systems using a load cell to measure drag force couldn't point out the relationship of the horizontal force measured and over ground performance.

Our theory is that the sustainment from the wall during TR sprinting has influence in force measurement, fact which is initially supported by the strong correlation found among TR mean force and body mass. Secondly, correlations between STR and TR were only evident when force and power were represented relatively to the body mass. Even so, TR system has obvious material advantages over the force-platform treadmill, once it has been already introduced to athletic training programs and has a widespread use in science. The STR model improves force evaluation using an analogous system, and since it does not allow the individual to lean forward 'hanging' on the load cell it can reduce body weight influence on force measures.

Conclusion

In general, STR and TR force, velocity and power measured parameters are different concerning magnitude. The higher velocity attained during STR bring it closer to free running on track. Despite that, a good correlation can be found between the two conditions when their results are expressed relatively to the body mass. STR and TR reliability was very alike, attesting the new apparatus good re-test agreement. Additionally, STR presents a better predictive validity concerning free running performance than TR. Future research using STR can be focused on its validity for athletic use or the relationship between resistance and power development on the field, as well as the analysis of STR sprinting kinematics.

Practical applications

- The new STR prototype enables evaluation of sprint force, velocity and power development directly on the field with similar reliability than laboratory non-motorized treadmills.
- STR greater validity regarding free running sprinting evaluation allows stronger inferences about performance than other testing processes.

- Its application on the track enables to ally sprint training with continuous testing, using it during training sessions along with other specific drills.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the athletes who volunteered to this research, in special to their field coach which provided an important time of their training program for data collection. We also want to thanks FAPESP (protocol number 2009/08535-5) and FAEPEX (protocol number: 065/11) for their financial support and the master's degree scholarship provided.

REFERENCES

BAKER, J.; RAMSBOTTOM, R.; HAZELDINE, R. Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. **Br J Sports Med**, v. 27, n. 4, p. 228-32, Dec 1993. ISSN0306-3674 (Print)
0306-3674 (Linking).

CHEETHAM, M. E.; BOOBIS, L. H.; BROOKS, S. et al. Human muscle metabolism during sprint running. **J Appl Physiol**, v. 61, n. 1, p. 54-60, Jul 1986. ISSN8750-7587 (Print)
0161-7567 (Linking).

CHEETHAM, M. E.; WILLIAMS, C.; LAKOMY, H. K. A laboratory running test: metabolic responses of sprint and endurance trained athletes. **Br J Sports Med**, v. 19, n. 2, p. 81-4, Jun 1985. ISSN0306-3674 (Print)
0306-3674 (Linking).

CHELLY, S. M.; DENIS, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 2, p. 326-33, Feb 2001. ISSN0195-9131 (Print)
0195-9131 (Linking).

CHIA, M.; LIM, J. M. Concurrent validity of power output derived from the non-motorised treadmill test in sedentary adults. **Ann Acad Med Singapore**, v. 37, n. 4, p. 279-85, Apr 2008. ISSN0304-4602 (Print)
0304-4602 (Linking).

DI SALVO, V.; BARON, R.; GONZALEZ-HARO, C. et al. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. **J Sports Sci**, v. 28, n. 14, p. 1489-94, Dec 2010. ISSN1466-447X (Electronic)

0264-0414 (Linking).

DOTAN, R.; BAR-OR, O. Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 51, n. 3, p. 409-17, 1983. ISSN0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking).

FUNATO, K.; YANAGIYA, T.; FUKUNAGA, T. Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. **Eur J Appl Physiol**, v. 84, n. 3, p. 169-73, Mar 2001. ISSN1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking).

HOPKER, J. G.; COLEMAN, D. A.; WILES, J. D. et al. Familiarisation and reliability of sprint test indices during laboratory and field assessment. **Journal of sports science and medicine**, v. 8, p. 528-32, 2009. ISSN

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000. ISSN0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking).

HOPKINS, W. G.; SCHABORT, E. J.; HAWLEY, J. A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Med**, v. 31, n. 3, p. 211-34, 2001. ISSN0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking).

HUGHES, M. G.; DOHERTY, M.; TONG, R. J. et al. Reliability of repeated sprint exercise in non-motorised treadmill ergometry. **Int J Sports Med**, v. 27, n. 11, p. 900-4, Nov 2006. ISSN0172-4622 (Print) 0172-4622 (Linking).

JASKOLSKA, A.; GOOSSENS, P.; VEENSTRA, B. et al. Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. **Int J Sports Med**, v. 20, n. 3, p. 192-7, Apr 1999. ISSN0172-4622 (Print) 0172-4622 (Linking).

JASKÓLSKI, A.; VEENSTRA, B.; GOOSSENS, P. et al. Optimal resistance for maximal power during treadmill running **Sports medicine, training and rehabilitation**, v. 7, p. 17-29, 1996. ISSN

LAKOMY, H. K. A. The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. **Ergonomics**, v. 30, n. 4, p. 627-36, 1987. ISSN

LIM, J. M.; CHIA, M. Y. Reliability of power output derived from the nonmotorized treadmill test. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 3, p. 993-6, Aug 2007. ISSN1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking).

LIMA, M. C.; RIBEIRO, L. F.; PAPOTI, M. et al. A semi-tethered test for power assessment in running. **Int J Sports Med**, v. 32, n. 7, p. 529-34, Jul 2011. ISSN1439-3964 (Electronic)
0172-4622 (Linking).

MCGRAW, K. O.; WONG, S. P. Forming Inferences About Some Intraclass Correlation Coefficients **Psychological Methods**, v. 1, n. 1, p. 30-46, 1996. ISSN

MCKENNA, M.; RICHES, P. E. A comparison of sprinting kinematics on two types of treadmill and over-ground. **Scand J Med Sci Sports**, v. 17, n. 6, p. 649-55, Dec 2007. ISSN0905-7188 (Print)
0905-7188 (Linking).

MORIN, J. B.; EDOUARD, P.; SAMOZINO, P. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 9, p. 1680-8, Sep 2011. ISSN1530-0315 (Electronic)
0195-9131 (Linking).

MORIN, J. B.; SEVE, P. Sprint running performance: comparison between treadmill and field conditions. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 8, p. 1695-703, Aug 2011. ISSN1439-6327 (Electronic)
1439-6319 (Linking).

TONG, R. J.; BELL, W.; BALL, G. et al. Reliability of power output measurements during repeated treadmill sprinting in rugby players. **J Sports Sci**, v. 19, n. 4, p. 289-97, Apr 2001. ISSN0264-0414 (Print)
0264-0414 (Linking).

TSUCHIE, H.; KOBAYASHI, K.; KANEHISA, H. et al. Assessment of sprinting abilities using a resistant self-driven treadmill. **International Journal of Sport and Health Science**, v. 6, p. 85-90, 2008. ISSN

VESCOVI, J. D. Sprint profile of professional female soccer players during competitive matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. **J Sports Sci**, v. 30, n. 12, p. 1259-65, 2012. ISSN1466-447X (Electronic)
0264-0414 (Linking).

WALDRON, M.; TWIST, C.; HIGHTON, J. et al. Movement and physiological match demands of elite rugby league using portable global positioning systems. **J Sports Sci**, v. 29, n. 11, p. 1223-30, Aug 2011. ISSN1466-447X (Electronic)
0264-0414 (Linking).

WITTEKIND, A.; COOPER, C. E.; ELWELL, C. E. et al. Warm-up effects on muscle oxygenation, metabolism and sprint cycling performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 3129-39, Aug 2012. ISSN1439-6327 (Electronic)
1439-6319 (Linking).

Estudo 2

Running-based anaerobic sprint test in free and loaded condition: validity and sensibility of power, force and velocity derived from time to complete the effort

Abstract

The study main objective is to evaluate RAST's proposed equations accuracy, precision and consistency. Aside, relationships among mechanical parameters obtained during the protocol and post exercise blood lactate kinetics will be investigated. Nine male national level sprint runners gave their written consent to participate in this study. In two different sessions, they underwent the RAST protocol in an official synthetic track under free (FR) or semi-tethered (STR) running, being the latter against a 9% body mass resistance. Power, force and velocity were assessed by STR sensors and RAST's equations, as well as post exercise blood lactate kinetics. The comparison between the mechanical parameters obtained from the two measurement tools showed general good accuracy from the equation data in relation to the STR sensors measures (%diff between -0.51 to 3.59). Also, a reasonable precision were observed between them (CV among 0.1 to 9.5, except for power FI), but a lack of consistency were evidenced by very poor Pearson's r for force and power parameters. When comparisons among FR and STR conditions were made, a systematic difference can be pointed out by large %diff between the means and similar CVs with those found for the measurement tools comparison. Parameters consistencies in this case were significantly improved, but the Pearson's r didn't reach statistical significance for force and power data. Peak blood lactate was different between conditions, but the lactate content produced in the external compartment did not presented statistical difference. Any lactate kinetics parameters weren't correlated with RAST's mechanical data. Peak blood lactate concentration alone could mislead assumptions on the ATP resynthesis glycolitic pathway. Velocity over 35

meters can be successfully obtained by the derivation of time to complete the task, but in a homogeneous group, the multiple derivations made in order to calculate force and power can clouded the results when compared to a high acquisition frequency system.

Keywords: Semi-tethered running; RAST; Mechanical power; Sprint Running;

Introduction

Proper evaluation of sports athletes' physical characteristics is crucial to the construction of training programs and goal achievement during competition. For this, the use of an adequate evaluation tools is required, and a poor decision regards testing approach could mislead coaches and sports scientists.

Tethered running in a non-motorized treadmill was proposed to evaluate mechanical power directly and with high acquisition frequency during sprint running (LAKOMY, 1987). Recently developed in our laboratory, the semi-tethered running system (STR) had its reliability and validity compared to the commonly used tethered run (CV range 3.1 – 12.0%, ICC range 0.52 – 0.79) showing better relationships with free running performance (SOUSA et al., 2013). Unlike tethered running, this new approach allows running evaluation on track, maintaining the dynamical aspects of sprinting.

Other tool used to evaluate power development in running is the running-based anaerobic sprint test (RAST), a repeated sprint protocol which has been used in training evaluation and different experimental designs due its easy application (JOURKESH et al., 2007; ROSEGUINI et al., 2008; ZACHAROGIANNIS et al., 2004). The RAST consists of six 35 meters sprints separated for 10 second intervals, and a equation (Eq.1) was proposed in order to derivate the mean power over each run based only on the runner's mass and time to complete the 35 meters.

$$P (W) = (BM \cdot \text{distance}^2) / \text{time}^3 \text{ (Eq.1)}$$

Evaluation using tethered or semi-tethered running systems requires development of equipment and personal staff, when RAST protocol has an easy, low-cost application. However, the use of such protocol is bounded with the knowledge of its error extent, in order to ensure any assumptions based on its results.

Mechanical power data derived from RAST's equation has been shown good agreement in studies using test-retests, but results on the protocol validity are still controversial (BALČIŪNAS et al., 2006; KEIR et al., 2012; ZAGATTO et al., 2009). RAST data construct validity was investigated over comparisons with the cicloergometer Wingate test, and discrepancies among studies results could be related to differences in the motor pattern used between the two protocols (VAN INGEN SCHENAU et al., 1991).

Relationships with physiological parameters could be an interesting alternative to assess RAST validity. However, despite repeated sprint protocols with effort durations up to 60 seconds have its energy provision mainly dependant to the glycolytic metabolism, so far there have been observed a lack of correlations between RAST power parameters and peak blood lactate (GLAISTER, 2005; KEIR et al., 2012; ZAGATTO et al., 2009). This could be addressed to the fact that blood lactate concentration isn't only related to an increase in the muscle compartment, but also to a variety of other processes that modulate lactate transportation into and its elimination from the blood (BENEKE et al., 2005). A detailed approach could improve the relationships between RAST mechanical parameters and the glycolytic metabolism behavior.

So, direct data error from RAST mechanical parameters has never been assessed, despite studies involving construct validity and relations with physiological parameters. This study's aims are to evaluate RAST's equation accuracy and precision regarding a system which features a high data acquisition frequency in evaluation of mechanical force, velocity and power. Differences regarding the protocol application over free and loaded running, as well as its relationships with glycolytic metabolism kinetics will also be addressed.

Methods

Nine male sprint runners (body mass [mean±SD] 68.46 ± 6.18 kg; height 1.78 ± 0.05 m; body fat = $4.44 \pm 1.18\%$; age 20.1 ± 1.9 years), who participated in 100, 200 and 400 meters athletics track competition at a national level for at least two years were recruited to take part in this investigation. They personal best scores for the current year were between 86.8 – 93.0% of the world's record in their principal disciplines. The participants were informed of the procedures and gave they written consent, having the liberty to withdraw from tests at any time. The study procedures were approved by the local ethics committee.

The individuals were requested to maintain usual food intake and sleep routines in testing days. Experimental sessions were taken in the morning, since it was their usual training time of the day. All tests were applied during two weeks after their year's major national competition, so the athletes maintained a light post-competition practice during this study procedure, always after the tests.

Experimental procedures

In an official synthetic track, two efforts following RAST protocol were performed being one in STR and one in FR conditions, with a 24 hour interval between them. To assess direct data error of RAST's mechanical parameters, in the STR condition velocity, force and power were calculated using both, the STR sensors and the RAST's equation (and its derivations for velocity and force). Comparisons among running conditions were made as well.

Before each test, participants were submitted to a standardized warm up consisting of 5-minutes jogging at a moderate intensity, followed by a 1-minute running at heavy intensity, as recommended by Wittekind et al (2012). For each RAST session, the individuals were weighed before warm up with their clothes on to insure the mass carried over the protocol.

Semi-tethered running

The semi-tethered system utilized in the present study is a recently presented adaptation of a previous apparatus developed in our laboratory (Lima et al, 2011). It consists of a metal tricycle with a load cell fixed on the top of the structure, at which athletes ran attached by an inextensible steel cable and a belt placed around their waists (figure 1). Prior to each test, known weights were used for the calibration of the load cell, enabling conversions of mV signals to force (N). In the prototype's front wheel, a magnetic pulse sensor was equipped, measuring the prototype horizontal displacement imposed by the athlete in a time series at each 31 centimeters, thus enabling velocity calculation. Both signals were sampled at 1000Hz and computed in PC software (Labview 6.1). The force signal were smoothed (MatLab 6.0) using a four order Butterworth filter with a cutoff frequency of 10Hz, as determined by fast Fourier transform analysis. The velocity signal was interpolated in order to obtain information in the same frequency as the force (1000Hz), synchronized in the time series. Power was obtained as the direct product between force and velocity.

Force, velocity and power means over each sprint was calculated to allow comparisons with RAST's equation. In this condition, the athletes performed RAST against a 9% body mass resistance, chosen from pilot tests in order to allow the realization of the protocol without excessive acceleration of the prototype in relation to the runner, and were continuously motivated through verbal stimulus during the efforts.

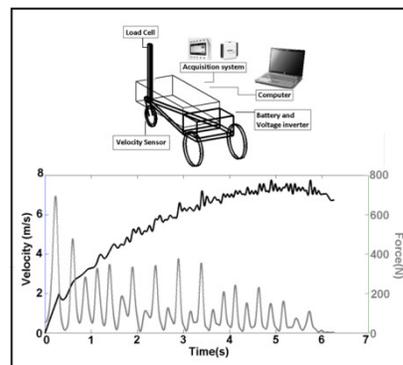


Figure 1 – STR prototype and data example collected over a 35 meter sprint.

Running Anaerobic Sprint Test

The RAST consisted of six 35-m maximal sprints with a 10-second interval between them. In the free running situation, time for each run was measured by photocells (Speed Test 6.0 standard, CEFISE, Brazil) situated at start and end running points. The running time and intervals between sprints were measured by the photocell arrangement, where each sprint start was signaled from a beep.

Equation 1 was applied on both running conditions, in order to calculate mean power over each one of the six sprints. Mean force and velocity was also calculated using the same principles as in equation 1 (Eq. 2 and 3).

$$V = d/t \text{ (Eq. 2)}$$

$$F = (BM*d)/t^2 \text{ (Eq. 3)}$$

In STR, the force calculated was added to the imposed resistance, since equation 3 only accounts for the resultant force, and the STR arrangement takes in to consideration the total applied force. This correction was adopted to power calculation as well.

Either for the comparisons among the two measurement tools in STR condition (prototype sensors and equations) or between running conditions, the variables were analyzed as the peak, or the highest value over the six means, and the mean, or the sum of the six values divided per six. Fatigue index were calculated for velocity, force and power, as the percentage decrement score (GLAISTER et al., 2008).

Blood lactate kinetics

For both efforts, post exercise capillary blood from the ear lobe were collected every minute until the tenth, and then every two minutes until the twentieth to investigate lactate appearance and disappearance in the blood compartment, allowing inferences over the glycolytic metabolism behavior through

mathematical modeling. The biexponential adjustment outputs a variable concerning the lactate generated in the extravascular compartment (A) and two velocity constants, related to the invasion (k_1) and evasion (k_2) of the lactate from the blood compartment. Also, the model was used to calculate peak blood lactate concentration (BLC_{peak}) and time to peak blood lactate concentration ($TBLC_{peak}$) using all data collected, thus avoiding inferences based in one single point of the blood lactate concentration curve (BENEKE et al., 2005; BENEKE; HUTLER; LEITHAUSER, 2007).

Statistical analysis

Lilliefors and Levene's tests were used to check normality and equality between data variances. Since heteroscedasticity was present in some variables, all data were log transformed before using parametric analysis. Student's t-tests for dependent samples were applied for comparisons between the two tools of measurement in STR condition, as well as for the two running conditions. The accuracy extent of RAST's equations and its derivatives were assessed via the differences between means, expressed relatively to the STR sensors (%diff). To quantify data precision between conditions and measurement tools, the variances in intra individuals differences were evidenced by the coefficient of variation (CV), calculated as the typical error expressed as a percent of the variable mean (HOPKINS et al., 2001). Pearson's r was used to investigate relative consistency, thus evaluating similarities in the sensibility to rank individuals over measurement tools and conditions.

Results

In the first analysis, the factor 'measurement tool' was isolated in STR condition, and only PV and MV showed a significant difference between means (table 1). Despite that, their %diff and CV were among the lowest found, and high

significant Pearson's r were observed. With exception of Fl_f , all studied variables presented low %diff and CV, but only Fl_p and the velocity parameters had significant r .

For comparisons among running conditions, student's T-tests between STR and FR showed significant differences between almost all variables, with exception for PF and IF_v (table 2). This, together with small %diff, shows a particular accuracy for those two variables. However, unlike IF_v , PF also showed a good measurement precision, evidenced by the little CVs, and reasonable consistency ($r = 0.57$; $p = 0.11$). The IF_v , together with IF_f and IF_p presented a lack of consistency regarding individual data, based on their CVs. Due the low coefficient of variation among all other parameters, the significant differences and high %diff between the two conditions can be considered systematic bias, explained by the imposed resistance in the STR condition. Even so, no significant Pearson's r can be seen for almost all variables.

Table 1 – RAST over semi-tethered condition, calculated by the prototype sensors (STRsen) and RAST proposed equation and its derivates (STReq).

	STRsen	STReq	p-value	%diff	CV (%)	r (p-value)
PF (N)	122 ± 12	121 ± 4	0.95	0.60	7.9	-0.10 (0.79)
MF (N)	112 ± 12	112 ± 5	0.98	0.29	9.5	-0.46 (0.21)
lff (%)	8.41 ± 1.11	8.10 ± 2.22	0.55	3.59	21.1	0.01 (0.99)
PV (m/s)	5.49 ± 0.19*	5.50 ± 0.18	0.007	-0.23	0.1	0.99 (<0.001)
MV (m/s)	5.00 ± 0.27*	5.02 ± 0.27	0.004	-0.22	0.1	0.99 (<0.001)
lfv (%)	8.92 ± 2.97	8.93 ± 2.92	0.82	-0.09	1.6	0.99 (<0.001)
PP (W)	668 ± 68	670 ± 45	0.88	-0.29	7.8	0.24 (0.54)
MP (W)	562 ± 52	564 ± 53	0.91	-0.51	9.0	0.08 (0.84)
lfp (%)	15.77 ± 2.98	15.78 ± 4.27	0.76	-0.06	8.8	0.88 (0.002)

Values are in means ± SD. PF, peak force; MF, mean force; % Fl_f , force fatigue index; PV, peak velocity; MV, mean velocity; % Fl_v , velocity fatigue index; PP, peak power; MP, mean power; % Fl_p , power fatigue index; *Significantly different from equations ($p < 0.05$); † Significantly different from equations ($p < 0.01$)

Table 2 – RAST performance comparisons among semi-tethered running (STR) and free running (FR).

	STR	FR	p-value	%diff	CV (%)	r (p-value)
PF (N)	122 ± 13	118 ± 15	0.232	3.8	7.6	0.57 (0.11)
MF (N)	112 ± 12 [†]	99 ± 10	0.001	11.6	6.3	0.64 (0.64)
%FI _f (%)	8.4 ± 1.1 [†]	15.5 ± 4.2	< 0.001	-84.6	29.5	-0.56 (0.11)
PV (m/s)	5.49 ± 0.19 [†]	7.73 ± 0.34	< 0.001	-40.7	3.8	0.68 (0.03)
MV (m/s)	5.00 ± 0.27 [†]	7.08 ± 0.27	< 0.001	-41.5	4.3	0.91 (<0.001)
%FI _v (%)	8.9 ± 3.0	8.3 ± 2.4	0.612	6.9	30.8	-0.02 (0.97)
PP (W)	589 ± 72 [†]	913 ± 146	< 0.001	-54.9	11.6	0.51 (0.16)
MP (W)	499 ± 55 [†]	708 ± 87	< 0.001	-41.9	8.0	0.60 (0.09)
%FI _p (%)	15.1 ± 2.7*	21.8 ± 5.6	0.015	-44.4	24.8	-0.13 (0.75)

Values are in means ± SD. PF, peak force; MF, mean force; %FI_f force fatigue index; PV, peak velocity; MV, mean velocity; %FI_v velocity fatigue index; PP, peak power; MP, mean power; %FI_p power fatigue index; *Significantly different from FR (p < 0.05); [†] Significantly different from FR (p < 0.01)

Blood lactate kinetics (table 3) didn't show statistical difference between free and loaded RAST, with exception for BLC_{peak} (p=0.02). Since both conditions have all-out and short duration characteristics a maximum energy demand was already expected, reflecting in a similar glycolytic metabolism assessment. No significant correlations were found between any metabolic parameters measured and RAST mechanical variables for neither conditions nor measurement tools.

Table 3 - RAST lactate response for STR and FR

	STR	FR	p – value
A (mmol/l)	12.29 ± 2.16	12.12 ± 1.35	0.80
<i>k1</i> (min ⁻¹)	0.60 ± 0.36	0.81 ± 0.35	0.23
<i>k2</i> (min ⁻¹)	0.07 ± 0.10	0.03 ± 0.01	0.22
BLC _{peak} (mmol/l)	13.30 ± 1.20*	11.20 ± 1.47	0.02
TBLC _{peak} (min)	4.8 ± 1.4	5.1 ± 1.2	0.56

A – lactate generated in the extravascular compartment; *k1* - constant of lactate invasion from the blood compartment; *k2* - constant of lactate evasion from the blood compartment; BLC_{peak} – peak blood lactate concentration; TBLC_{peak} – time to peak blood lactate concentration; *Significantly different from FR (p < 0.05);

Discussion

The comparisons between RAST's equation and STR acquisition system enabled the assessment of the equation error regarding accuracy, precision and consistency. In this case, generally all variables presented low %diff and CV between them. The only exception was fatigue index calculated for force, which despite the non significant difference showed the largest %diff and CV.

A high individual variability (represented by CV) in all the fatigue indexes were expected, since they adds the variances of the parameters involved in their calculation (GLAISTER et al., 2008; GLAISTER et al., 2004). Since the intra tools variance in the other velocity parameters (peak and mean) is extremely low, and that variance for power variables is somewhere between the ones presented for velocity and force, a large CV was observed only for FI_f , were the individual variability was larger. Unexpectedly, FI_v and FI_p presented good accuracy, precision and consistency among the measurement tools. Probably the error attributed to FI calculation was similar among the data measured in those different tools, thus resulting in a low CV for them. One must notice that this analysis tends to assess FI calculation agreement among measurement tools, and not its validity to infer over the fatigue behavior.

Peak and mean velocity were the only two variables which significant differences between measurement tools were present. In those particular cases, one has to consider that the difference pointed in the Student's T-test is due their little intra individual variance, and so was not of practical importance. It is an perfect example of why the use of hypothesis testing alone to make inferences about data agreement can result in a fragile decision (ALTMAN; BLAND, 1983). Peak and mean velocity are among the lowest %diff among measurement tools, which together with its very low CV and significant strong Pearson's r lead us to not take the T-test result into consideration for those particular cases, and affirm that velocity between measurement tools do agree in precision, accuracy and consistency in a practical manner.

It is clear that force and power calculated by RAST's equations had a very poor consistency, as well as a considerable lower precision than velocity, based in its small Pearson's r and larger CVs. A first error source between the two

measurement tools used could be attributed to a higher number of derivations based on the time to complete each sprint for force and power equations than to velocity calculation, which features only one. However, Bosco and comrades (BOSCO et al., 1995), using similar principles as RAST equations to calculate velocity, force and power in resisted training demonstrated that the measurement error in the equations are in fact higher for those latter, but probably not sufficient to alone explain such low consistency between force and power measurement tools as we found. Other factor to enhance the measurement tools bias relies on the fact that RAST equations uses information based on only two moments during each sprint, the initial (zero velocity) and final. The intermittent characteristics of force application in running can have influenced this variable calculation in a bigger extent than velocity, which has a more linear behavior (figure 1). Since power is the product of force and velocity, the difference among tools regarding force reflects also in a difference for power.

A third possible cause for low consistency between measurement tools can be attributed to the load compensation used in force and power calculation, an uncommon procedure to the proposed equations. Although this approach had improved the equation data in accuracy towards the STR sensors, it is possible that it could be involved in such a lack of consistency experienced on force and power among the measurement tools. Thus, we also applied RAST to a free running situation, trying to search better correlations among power and force parameters. In fact, correlations (table 2) have been improved for those two parameters, but yet didn't reach statistical significance.

The present study used a very homogeneous sample, so even the relatively small CV found for force and power can't guarantee the data consistency between the two measurement tools. In the literature, the significant correlations found between RAST and Wingate test were weak, and despite RAST results are better correlated with time to sprint running over short distances than Wingate, those studies applied RAST in non specialized groups (ZACHAROGIANNIS et al., 2004; ZAGATTO et al., 2009). In our investigation, RAST force and power equations

presented a poor sensibility to rank well trained sprint athletes, raising concerns about its application for elite runners.

In parameters comparison among running conditions, the CV were very low and similar with those found for measurement tools, leading us to believe that the source or variation between those comparisons is the same. That way, the big difference observed mostly for velocity and power parameters can be considered systematic, caused by the imposed load. The exception are the fatigue indexes for velocity and power, which this time followed the poor precision and consistency as FI_f .

As expected, the velocity parameters are between the most affected by the high resistance experienced in the STR condition, but precision and consistency remained high, suggesting that the differences were in fact an effect of the imposed load. Force parameters, however, were less affected and the peak force happened to be very similar between conditions. If the STR sensors and RAST equation for force are in fact measuring the higher amount of force that one individual can apply in a sprint, it is plausible to expect an equivalency on the force peak for conditions with any imposed load. The difference in the fatigue patterns between loaded and unloaded conditions won't be discussed in the present investigation, since that falls way far from its scope.

Over the prerogative that the glycolytic metabolism has a great contribution on all out, short duration efforts, the peak blood lactate concentration was often used as a metabolic parameter related to the energy production through repeated sprint protocols. So far, studies using RAST could not found significant correlations between its mechanical parameters and peak blood lactate concentration (KEIR et al., 2012; ZAGATTO et al., 2009). Blood lactate concentration is an easy and relatively non-expensive biomarker, so we invested in a more detailed use than only its observed peak to search relationships among RAST mechanical parameters and the glycolytic pathway.

No differences were found between the two conditions regarding lactate appearance and disappearance into the vascular compartment, as well as the lactate production in the extravascular compartment. This could already be

expected, since the individuals involved in the study are high level sprinters and in both situations they were submitted to an all-out effort, thus using the maximal energy indexes from their glycolytic pathway. This way, due the higher time to complete the protocol in the loaded condition and since muscular ATP and creatine phosphate contents are short, we speculate a higher contribution of the aerobic metabolism to compensate the larger energy demand. This is well reported in the literature for repeated sprints protocols with different effort durations (BOGDANIS et al., 1996; GLAISTER, 2005). Once we did not measure the aerobic energy provision, in our case this can only be an assumption. In this investigation, data obtained by lactate kinetics was not significantly correlated to RAST mechanical parameters, therefore correlations between mechanical parameters and energy provision should be expected when all ATP resynthesis sources were investigated, and not only anaerobic glycolytic pathway.

The differences in peak lactate between the two conditions strengthens the idea that an isolated analysis of this parameter could mislead the information about glycolytic energy provision, since it is a parameter more sensitive to lactate appearance and disappearance from the blood than the muscle ability to generate it (BENEKE et al., 2005).

In conclusion, the multiple derivations based on the time to complete an effort and a low acquisition frequency could mislead the data obtained for RAST equations when compared to a more robust evaluation system. Data magnitude obtained by RAST equations are capable to identify well-marked differences caused by a strong effect, as the imposition of a load. However, the force and power equations sensibility to rank a homogeneous sample is low, and despite its practical advantages, application for well trained athletes must be taken with care. Post exercise blood lactate concentration seems to be far related to RAST mechanical parameters. The velocity calculation using only time to complete a 35 m sprint maintained its accuracy, precision and consistency, as well as its sensibility to identify a strong effect imposed, and we encourage its use in the analysis of RSA protocols.

This study is financed with help of FAEPEX, under protocol number 065/11.

REFERENCES

ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies. **The Statistician**, v. 32, p. 307-317, 1983. ISSN

BALČIŪNAS, M.; STONKUS, S.; ABRANTES, C. et al. Long term effects of different training modalities on power, speed, skill and anaerobic capacity in young male basketball players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 5, p. 163-170, 2006. ISSN1303-2968.

BENEKE, R.; HUTLER, M.; JUNG, M. et al. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. **J Appl Physiol**, v. 99, n. 2, p. 499-504, Aug 2005. ISSN8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking).

BENEKE, R.; HUTLER, M.; LEITHAUSER, R. M. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 6, p. 671-7, Dec 2007. ISSN1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking).

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H. et al. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **J Appl Physiol**, v. 80, n. 3, p. 876-84, Mar 1996. ISSN8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking).

GLAISTER, M. Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. **Sports Med**, v. 35, n. 9, p. 757-77, 2005. ISSN0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking).

GLAISTER, M.; HOWATSON, G.; PATTISON, J. R. et al. The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 5, p. 1597-601, Sep 2008. ISSN1533-4287 (Electronic) 1064-8011 (Linking).

GLAISTER, M.; STONE, M. H.; STEWART, A. M. et al. The reliability and validity of fatigue measures during short-duration maximal-intensity intermittent cycling. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 3, p. 459-62, Aug 2004. ISSN1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking).

HOPKINS, W. G.; SCHABORT, E. J.; HAWLEY, J. A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Med**, v. 31, n. 3, p. 211-34, 2001. ISSN0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking).

JOURKESH, M.; OSTOJIC, S. M.; AZARBAYJANI, M. A. The effects of vitamin E and vitamin C supplementation on bioenergetics index. **Res Sports Med**, v. 15, n. 4, p. 249-56, Oct-Dec 2007. ISSN1543-8627 (Print)
1543-8627 (Linking).

KEIR, D. A.; THERIAULT, F.; SERRESSE, O. Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate level soccer players. **J Strength Cond Res**, Sep 19 2012. ISSN1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking).

LAKOMY, H. K. A. The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. **Ergonomics**, v. 30, n. 4, p. 627-36, 1987. ISSN

ROSEGUINI, A. Z.; SILVA, A. S. R. D.; GOBATTO, C. A. Determinações e Relações dos Parâmetros Anaeróbios do RAST, do Limiar Anaeróbio e da Resposta Lactacidêmica Obtida no Início, no Intervalo e ao Final de uma Partida Oficial de Handebol. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 14, n. 1, p. 46-50, 2008. ISSN1806-9940.

SOUSA, F. A. B.; RIBEIRO, L. F.; DOS REIS, I. G. M. et al. Field measures of horizontal force, velocity and power in sprint by the semi-tethered running system and comparisons with laboratory tethered run data. unpublished work.p.14. 2013

VAN INGEN SCHENAU, G. J.; JACOBS, R.; DE KONING, J. J. Can cycle power predict sprint running performance? **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 63, n. 3-4, p. 255-60, 1991. ISSN0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking).

WITTEKIND, A.; COOPER, C. E.; ELWELL, C. E. et al. Warm-up effects on muscle oxygenation, metabolism and sprint cycling performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 3129-39, Aug 2012. ISSN1439-6327 (Electronic)
1439-6319 (Linking).

ZACHAROGIANNIS, E.; PARADISIS, G.; TZIORTZIS, S. An Evaluation of Tests of Anaerobic Power and Capacity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 5, p. S116, 2004. ISSN

ZAGATTO, A. M.; BECK, W. R.; GOBATTO, C. A. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 6, p. 1820-7, Sep 2009. ISSN1533-4287 (Electronic)

1064-8011 (Linking).

5 Discussão

O uso difundido da avaliação de força, velocidade e potência através da corrida atada em esteira não motorizada, bem como a sua comprovada validade e reprodutibilidade levou a utilização desse sistema como referência para a investigação da aplicabilidade do protótipo de corrida semi-atada. A reprodutibilidade do sistema de corrida semi-atada se mostra semelhante àquela encontrada para a corrida atada no presente estudo e apresentada na literatura (HOPKER et al., 2009; LIM; CHIA, 2007). Entretanto, diferenças em termos de magnitude foram observadas entre os ergômetros para quase todas as análises de velocidade, força e conseqüentemente potência, com exceção da velocidade média e força pico instantânea.

As diferenças entre a CA e CSA no que diz respeito à resistência superada pelo avaliado pode ser apontada como uma causa plausível para a maior velocidade máxima alcançada no novo modelo proposto. Para os testes no CRV a resistência foi afixada em 9% do peso corporal, enquanto que o coeficiente de atrito estático calculado para a ENM foi igual a 0,16, o que em um sistema simplificado é equivalente a uma resistência por volta de 16% do peso corporal do avaliado. Apesar disso, diferenças não puderam ser apontadas para as velocidades em termos de média em corridas de 35 metros.

Comumente, a velocidade desenvolvida em avaliação de corrida atada é menor do que em corrida livre mesmo utilizando motores de torque para amenizar o atrito imposto pela ENM (CHELLY; DENIS, 2001; MORIN; SEVE, 2011), o que pode gerar diferenças no comportamento dessa e de outras variáveis mecânicas ao longo do esforço. Tentativas de aproximação da velocidade de avaliação em relação à encontrada para corrida livre podem resultar em dados mecânicos mais próximos dos manifestados durante o desempenho de competição, e uma vez que esgotadas as tentativas de diminuição da força de atrito na ENM, o CRV se mostra um protótipo que possibilita a imposição de uma resistência menor, permitindo ao indivíduo se aproximar mais da velocidade de corrida livre. Além disso, estudos extensivos sobre a aplicação de diferentes resistências no CRV ainda não foram

concluídos, levantando a possibilidade da adoção de resistência ainda menor para corrida de elevada velocidade.

Não foi encontrada diferença entre a força pico instantânea dos dois ergômetros, fortalecendo a idéia de que ambos medem o mesmo constructo, ou a manifestação da máxima força capaz de ser desenvolvida pelos avaliados em corrida. Apesar disso, a força máxima e média foram significativamente diferentes.

Para uma mesma velocidade média, seria plausível esperar uma manifestação de força semelhante, uma vez que a força e velocidade em diversos ergômetros com diferentes padrões de movimento, inclusive corrida na ENM, tem apresentado relação linear (JASKOLSKA et al., 1999; OSTERAS; HELGERUD; HOFF, 2002; SPRAGUE et al., 2007). No presente estudo não foram encontradas diferenças entre as velocidades médias mensuradas nos dois ergômetros, porém as forças médias se mostraram diferentes. Dois fatores podem ser citados com a causa principal dessas discrepâncias. Primeiramente, a resistência maior apresentada na condição de CA resultaria em necessidade de aplicação maior de força para igualar as velocidades médias. Outro fator importante nessas diferenças reside na influência da força peso na mensuração da força desenvolvida na ENM, argumento que é fortalecido por: i) uma significativa correlação entre a força média e a massa corporal dos avaliados para a avaliação em ENM e não em CRV, ii) a melhora significativa entre os dados de força dos dois ergômetros quando normalizados pelo peso corporal, e iii) uma melhora mais expressiva das relações entre o desempenho de corrida livre e os parâmetros de força para CA em relação a CSA.

A manifestação da potência mecânica se mostra dependente da resistência aplicada (DOTAN; BAR-OR, 1983; JASKÓLSKI et al., 1996), e uma vez encontradas diferenças entre a velocidade e a força desenvolvida nos dois ergômetros, é natural a ocorrência de diferença entre os parâmetros de potência estudados. Os fatores que causaram diferenças entre a força e velocidade dos ergômetros se somam na manifestação da potência mecânica, e por isso o estudo dessa variável isolada pode mascarar efeitos que influenciem separadamente

seus dois componentes diretos, podendo levar a uma abordagem incompleta dependendo dos objetivos da pesquisa (KNUDSON, 2009).

A reprodutibilidade encontrada em situação de teste e re-teste na ENM se assemelhou aquela apresentada pela literatura (HOPKER et al., 2009; LIM; CHIA, 2007). Os coeficientes de variação foram mais similares para os parâmetros de velocidade, porém apenas a força e potência médias absolutas apresentaram-se com intervalos de confiança que não se sobrepunham. Quando relativizados pela massa corporal, esses parâmetros apresentaram reprodutibilidade semelhante. A influência já comentada da força peso no sinal capturado pela célula de carga pode ter nublado a variabilidade inerente à variável de força na situação de CA, estreitando os coeficientes de variação da força e potência média.

A análise de reprodutibilidade relativa apresentou ICCs significantes para quase todos os parâmetros obtidos na CSA, com exceção da força média em termos absolutos. Quando apresentada relativamente à massa corporal essa variável apresentou melhora no valor de ICC, o que pode ser creditado a um aumento da variância dos dados (HOPKINS et al., 2001) Para a CA, o pico de força absoluto e relativo à massa corporal não apresentou ICC significativa, possivelmente devido à fraca reprodutibilidade absoluta (CV =15%).

No geral, uma reprodutibilidade satisfatoriamente semelhante pode ser atribuída aos dois ergômetros. Dados das duas formas de avaliação se mostraram reprodutíveis tanto absoluta quanto relativamente à massa corporal, sendo assim confiáveis para avaliação de corridas de velocidade.

Apesar da reprodutibilidade semelhante entre os ergômetros, uma maior relação dos parâmetros calculados através da CSA com a corrida livre sugere que a utilização dessa abordagem seja mais apropriada para avaliação do desempenho em pista. Esses dados seguem em conjunto com os estudos utilizando o protótipo anterior de CSA, confirmando uma melhor relação entre o desempenho em corrida livre e as variáveis mecânicas obtidas em detrimento de outras avaliações laboratoriais (LIMA, M. C. et al., 2011).

Avaliações utilizando esteira não motorizada requerem investimento em material e especialização de pessoal, e grande parte dos atletas não tem acesso a

elaboradas instalações de avaliação ou o acompanhamento de cientistas do esporte para análise dos dados obtidos (GREEN, 1995). A proposta do CRV, apesar de requerer menos investimento, se trata de uma abordagem em desenvolvimento que precisa passar por um processo de difusão para que tenha oportunidade de adentrar o ambiente da prática esportiva. O RAST, entretanto, é um protocolo que emprega um baixo custo de material, análise facilitada de dados e é atualmente utilizado e conhecido no mundo inteiro.

Uma vez que os dados do modelo de CSA apresentaram relação e semelhante reprodutibilidade àqueles utilizando CA, e os dados de desempenho em corrida foram mais bem correlacionados com a avaliação usando CRV em pista, esse sistema foi o escolhido para a investigação da acurácia, precisão e consistência dos dados obtidos através da equação nas condições propostas pelo protocolo de RAST. Para isso, foi realizado o cálculo da potência através da equação de RAST na situação de CSA, e derivações dessa equação levaram ao cálculo da força e velocidade baseadas no tempo para realizar o esforço e a massa do indivíduo, permitindo a comparação direta com os resultados obtidos pelos sensores de alta frequência de aquisição de dados.

Como esperado, os dados de velocidade apresentaram maior acurácia, precisão e consistência entre as ferramentas de medida, com pequenas diferenças percentuais, coeficientes de variação e elevadas correlações. Isso pode ser atribuído inicialmente à realização de menos derivações na equação utilizada para o cálculo da velocidade média. Porém, estudos utilizando princípios semelhantes para o cálculo da velocidade, força e potência demonstraram que a magnitude do erro proporcionado pelas derivações adicionais no cálculo dos últimos dois parâmetros mecânicos é de fato maior, porém em uma magnitude que sozinha não seria capaz de explicar a extensão de perda de precisão e consistência apresentada (BOSCO et al., 1995).

Outro fator que poderia explicar os vieses encontrados para força e potência é o fato de que as equações do RAST se baseiam em informações coletadas em apenas dois momentos, inicial (velocidade zero) e final da corrida. Essa baixa frequência acarreta em uma perda de informações que pode

comprometer mais o cálculo da força e conseqüentemente da potência do que da velocidade, tendo em vista o comportamento intermitente da aplicação de força durante a corrida. Além disso, em esforços que buscam a aceleração máxima, é comum o acontecimento da maior manifestação de força no início, seguida da potência e mais próximo do fim a velocidade (LAKOMY, H., 1993), fortalecendo a hipótese de que os momentos de coleta prejudicariam mais o cálculo das médias de força e potência do que o da velocidade.

Para compensar a resistência imposta na aplicação do RAST em CSA, uma abordagem incomum à aplicação das equações foi realizada. Apesar de promover uma acurácia considerável, essa pode ser apontada como uma possível causa de diminuição da precisão e perda completa da consistência entre os dados. Sendo assim, o RAST foi realizado em situação livre e seus resultados comparados com os dados obtidos pelos sensores do protótipo de CSA. De fato, foi observado um aumento da consistência através de correlações maiores, apesar de que mesmo assim não alcançarem significância estatística.

Na literatura, os estudos que encontraram correlações significativas entre os dados de potência do RAST e do teste de Wingate apresentaram baixas correlações, e apesar dos dados do protocolo ser mais bem correlacionado com a corrida livre do que aquele realizado em cicloergômetro, esses estudos utilizaram indivíduos não especializados em corrida de velocidade para a obtenção dos dados (ZACHAROGIANNIS et al., 2004; ZAGATTO et al., 2009). O estudo dois emprega uma amostra de corredores especializados em corrida de velocidade, portanto com resultados de desempenho altamente homogêneos. As abordagens utilizadas falharam em apontar uma classificação satisfatória das variáveis de força e potência obtidas pela equação do RAST nesses indivíduos, levantando preocupações acerca do emprego satisfatório do protocolo para avaliação de corredores bem treinados.

As similaridades dos CV entre os instrumentos de medida (estudo 2 - tabela 1) e entre as condições com carga e corrida livre (estudo 2 – tabela 2) levam a crer que a carga aplicada causou um efeito sistemático, ou seja, apesar dos grandes %diff sugerirem uma diferença considerável na magnitude dos dados, a

precisão entre eles não foi afetada, o que em termos práticos pode levar a conclusão de que o efeito carga causou uma mudança semelhante para todos os indivíduos.

A força pico continuou semelhante entre as duas condições, sugerindo que ambas medem o mesmo constructo, ou a força máxima que o indivíduo pode aplicar a uma corrida única com essas características de duração. Apesar disso, diferenças podem existir no padrão de fadiga provocado pela carga ao longo do teste, o que foge dos objetivos do presente estudo.

A concentração sanguínea pico de lactato é comumente utilizada em esforços de alta intensidade para fazer inferências sobre o funcionamento ou acesso da via glicolítica de ressíntese de ATP. Até então, estudos usando o RAST não encontraram correlações significativas entre suas variáveis mecânicas e a concentração sanguínea pico de lactato (KEIR et al., 2012; ZAGATTO et al., 2009). A abordagem empregada no presente estudo busca através de um uso mais detalhado da concentração sanguínea de lactato encontrar informações mais plausíveis sobre o funcionamento desse metabolismo de produção de energia.

Não foram encontradas diferenças significativas entre as duas condições de aplicação do RAST em relação aos parâmetros ligados à velocidade de aparecimento e desaparecimento desse bio marcador da corrente sanguínea bem como para o conteúdo de lactato produzido no compartimento extravascular. Uma vez que os indivíduos estudados são velocistas bem treinados, e em ambas as condições foi requisitado o máximo de esforço durante a realização do RAST, é plausível a apresentação de uma taxa de demanda energética semelhante por esse metabolismo. Sendo assim, o maior tempo para completar os esforços na situação com carga pode ter requisitado uma participação maior do metabolismo aeróbio como sugerido na literatura para protocolos de corridas repetidas com diferentes durações de esforço (BOGDANIS et al., 1996; GLAISTER, 2005).

A concentração pico de lactato sanguíneo, ainda assim, encontrou diferenças entre as condições, e entendendo que o conteúdo de lactato produzido foi o mesmo nas duas situações, isso sugere que inferências sobre o funcionamento metabólico baseadas nessa variável podem levar a conclusões

incompletas e levar a resultados equivocados sobre o funcionamento do metabolismo anaeróbio glicolítico, uma vez que ela é mais sensível à cinética do lactato para dentro e fora da corrente sanguínea do que a habilidade muscular em gerar lactato por si mesmo (BENEKE et al., 2005).

6 Conclusão

Em geral, os dados obtidos entre a CA e CSA são diferentes no que diz respeito à magnitude, porém a forte correlação entre eles principalmente quando expressos relativamente à massa corporal sugere que isso seja um efeito da maior resistência aplicada e a influência da força peso na condição de CA. A reprodutibilidade desses dois sistemas é muito semelhante, sugerindo a concordância entre teste e re-teste do novo protótipo. Como esperado, a CSA apresenta melhor validade preditiva no que diz respeito a corridas de pista.

No que diz respeito às equações do RAST, suas múltiplas derivações baseadas no tempo para concluir o esforço, combinadas com uma baixa frequência de aquisição de dados pode levar a resultados equivocados em atletas altamente treinados quando comparados com um sistema de análise da força e potência mais robusto. Entretanto, a velocidade média calculada dessa maneira mantém acurácia, precisão e consistência mesmo em amostras homogêneas e seu emprego é encorajado se existir a necessidade da avaliação de resultados de um protocolo de corridas repetidas de maneira simples. O uso da concentração pico de lactato isoladamente pode ser insuficiente na realização de inferências sobre o funcionamento do metabolismo glicolítico.

REFERÊNCIAS

ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies. **The Statistician**, v. 32, p. 307-317, 1983.

BAKER, J.; RAMSBOTTOM, R.; HAZELDINE, R. Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. **Br J Sports Med**, v. 27, n. 4, p. 228-32, Dec 1993. ISSN 0306-3674 (Print) 0306-3674 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8130958> >.

BAKER, J. S.; DAVIES, B. High intensity exercise assessment: relationships between laboratory and field measures of performance. **J Sci Med Sport**, v. 5, n. 4, p. 341-7, Dec 2002. ISSN 1440-2440 (Print). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12585617> >.

BALČIŪNAS, M. et al. Long term effects of different training modalities on power, speed, skill and anaerobic capacity in young male basketball players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 5, p. 163-170, 2006. ISSN 1303-2968. Disponível em: < <http://www.jssm.org/vol5/n1/19/v5n1-19text.php> >.

BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. **Sports Med**, v. 4, n. 6, p. 381-94, Nov-Dec 1987. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3324256> >.

BENEKE, R. et al. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. **J Appl Physiol**, v. 99, n. 2, p. 499-504, Aug 2005. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16020438> >.

BENEKE, R.; HUTLER, M.; LEITHAUSER, R. M. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 6, p. 671-7, Dec 2007. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17710431> >.

BENEKE, R. et al. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? **Eur J Appl Physiol**, v. 87, n. 4-5, p. 388-92, Aug 2002. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12172878> >.

BOGDANIS, G. C. et al. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **J Appl Physiol**, v. 80, n. 3, p. 876-84, Mar 1996. ISSN 8750-7587 (Print)
0161-7567 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8964751> >.

BOGDANIS, G. C. et al. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. **J Physiol**, v. 482 (Pt 2), p. 467-80, Jan 15 1995. ISSN 0022-3751 (Print)
0022-3751 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7714837> >.

BOSCO, C. et al. A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 70, n. 5, p. 379-86, 1995. ISSN 0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7671871> >.

BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P. V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 50, n. 2, p. 273-82, 1983. ISSN 0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6681758> >.

BRUGHELLI, M.; CRONIN, J.; CHAOUACHI, A. Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 4, p. 933-9, Apr 2011. ISSN 1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20703170> >.

CALBET, J. A. et al. Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. **J Appl Physiol**, v. 94, n. 2, p. 668-76, Feb 2003. ISSN 8750-7587 (Print)
0161-7567 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12391104> >.

CERRETELLI, P. Energy sources for muscular exercise. **Int J Sports Med**, v. 13 Suppl 1, p. S106-10, Oct 1992. ISSN 0172-4622 (Print)
0172-4622 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1483744> >.

CHEETHAM, M. E. et al. Human muscle metabolism during sprint running. **J Appl Physiol**, v. 61, n. 1, p. 54-60, Jul 1986. ISSN 8750-7587 (Print)
0161-7567 (Linking). Disponible em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3733627> >.

CHEETHAM, M. E.; WILLIAMS, C.; LAKOMY, H. K. A laboratory running test: metabolic responses of sprint and endurance trained athletes. **Br J Sports Med**, v. 19, n. 2, p. 81-4, Jun 1985. ISSN 0306-3674 (Print)
0306-3674 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4027498> >.

CHELLY, S. M.; DENIS, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 2, p. 326-33, Feb 2001. ISSN 0195-9131 (Print)
0195-9131 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11224825> >.

CHIA, M.; LIM, J. M. Concurrent validity of power output derived from the non-motorised treadmill test in sedentary adults. **Ann Acad Med Singapore**, v. 37, n. 4, p. 279-85, Apr 2008. ISSN 0304-4602 (Print)
0304-4602 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18461211> >.

DE WITT, J. K. et al. Determinants of time to fatigue during nonmotorized treadmill exercise. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 3, p. 883-90, May 2009. ISSN 1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19387389> >.

DI SALVO, V. et al. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. **J Sports Sci**, v. 28, n. 14, p. 1489-94, Dec 2010. ISSN 1466-447X (Electronic)
0264-0414 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21049314> >.

DOS REIS, I. G. M. et al. Maximal Lactate Steady State In A Tethered Swimming Model For Rats. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, n. 5, p. S949 - 950, may 2011 2011. ISSN 0195-9131.

DOTAN, R.; BAR-OR, O. Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 51, n. 3, p. 409-17, 1983. ISSN 0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6685039> >.

ESPOSITO, F. et al. Effect of respiratory muscle training on maximum aerobic power in normoxia and hypoxia. **Respir Physiol Neurobiol**, v. 170, n. 3, p. 268-72, Mar 31 2010. ISSN 1878-1519 (Electronic)
1569-9048 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20156604> >.

FALK, B. et al. A treadmill test of sprint running. **Scand J Med Sci Sports**, v. 6, n. 5, p. 259-64, Oct 1996. ISSN 0905-7188 (Print)
0905-7188 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8960646> >.

FARZAD, B. et al. Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 9, p. 2392-9, Sep 2011. ISSN 1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21849912> >.

FUGLEWICZ, D. P.; SCHIEB, D. A. **Continuous foot-strike measuring system and method**. PATENT, U. S. United States. 5,299,454 1994.

FUNATO, K.; YANAGIYA, T.; FUKUNAGA, T. Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. **Eur J Appl Physiol**, v. 84, n. 3, p. 169-73, Mar 2001. ISSN 1439-6319 (Print)
1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11320631> >.

GHANBARI-NIAKI, A.; KRAEMER, R. R.; SOLTANI, R. Plasma nesfatin-1 and glucoregulatory hormone responses to two different anaerobic exercise sessions. **Eur J Appl Physiol**, v. 110, n. 4, p. 863-8, Nov 2010. ISSN 1439-6327 (Electronic)
1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20625762> >.

GLAISTER, M. Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. **Sports Med**, v. 35, n. 9, p. 757-77, 2005. ISSN 0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16138786> >.

_____. Multiple-sprint work: methodological, physiological, and experimental issues. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 3, n. 1, p. 107-12, Mar 2008. ISSN 1555-0265 (Print)
1555-0265 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19193958> >.

GLAISTER, M. et al. The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 5, p. 1597-601, Sep 2008. ISSN 1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18714226> >.

GLAISTER, M. et al. The reliability and validity of fatigue measures during short-duration maximal-intensity intermittent cycling. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 3, p. 459-62, Aug 2004. ISSN 1064-8011 (Print)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15320670> >.

GOSLIN, B. R.; GRAHAM, T. E. A comparison of 'anaerobic' components of O₂ debt and the Wingate test. **Can J Appl Sport Sci**, v. 10, n. 3, p. 134-40, Sep 1985. ISSN 0700-3978 (Print)
0700-3978 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4053260> >.

GREEN, S. Measurement of anaerobic work capacities in humans. **Sports Med**, v. 19, n. 1, p. 32-42, Jan 1995. ISSN 0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7740245> >.

GREENHAFF, P. L. et al. The metabolic responses of human type I and II muscle fibres during maximal treadmill sprinting. **J Physiol**, v. 478 (Pt 1), p. 149-55, Jul 1994. ISSN 0022-3751 (Print)
0022-3751 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7965830> >.

HOPKER, J. G. et al. Familiarisation and reliability of sprint test indices during laboratory and field assessment. **Journal of sports science and medicine**, v. 8, p. 528-32, 2009.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000. ISSN 0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10907753> >.

HOPKINS, W. G.; SCHABORT, E. J.; HAWLEY, J. A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Med**, v. 31, n. 3, p. 211-34, 2001. ISSN 0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11286357> >.

HUGHES, M. G. et al. Reliability of repeated sprint exercise in non-motorised treadmill ergometry. **Int J Sports Med**, v. 27, n. 11, p. 900-4, Nov 2006. ISSN 0172-4622 (Print)
0172-4622 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16739088> >.

JASKOLSKA, A. et al. Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. **Int J Sports Med**, v. 20, n. 3, p. 192-7, Apr 1999. ISSN 0172-4622 (Print)

0172-4622 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10333097> >.

JASKÓLSKI, A. et al. Optimal resistance for maximal power during treadmill running **Sports medicine, training and rehabilitation**, v. 7, p. 17-29, 1996.

JOURKESH, M.; OSTOJIC, S. M.; AZARBAYJANI, M. A. The effects of vitamin E and vitamin C supplementation on bioenergetics index. **Res Sports Med**, v. 15, n. 4, p. 249-56, Oct-Dec 2007. ISSN 1543-8627 (Print)
 1543-8627 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18158690> >.

KEIR, D. A.; THERIAULT, F.; SERRESSE, O. Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate level soccer players. **J Strength Cond Res**, Sep 19 2012. ISSN 1533-4287 (Electronic)
 1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22996022> >.

KLASNJA, A. et al. Analysis of anaerobic capacity in rowers using Wingate test on cycle and rowing ergometer. **Med Pregl**, v. 63, n. 9-10, p. 620-3, Sep-Oct 2010. ISSN 0025-8105 (Print)
 0025-8105 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21443056> >.

KNUDSON, D. V. Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 6, p. 1902-8, Sep 2009. ISSN 1533-4287 (Electronic)
 1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19675467> >.

KRAM, R. et al. Force treadmill for measuring vertical and horizontal ground reaction forces. **J Appl Physiol**, v. 85, n. 2, p. 764-9, Aug 1998. ISSN 8750-7587 (Print)
 0161-7567 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9688758> >.

LAKOMY, H. Laboratory measurement of human power output during maximum intensity exercise. **Physics Education**, v. 28, n. 6, p. 376-379, 1993. Disponível em: < <http://iopscience.iop.org/0031-9120/28/6/007> >.

LAKOMY, H. K. A. The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. **Ergonomics**, v. 30, n. 4, p. 627-36, 1987.

_____. Laboratory measurement of human power output during maximum intensity exercise. **Physics Education**, v. 28, n. 6, p. 376-79, 1993.

LEGAZ-ARRESE, A. et al. Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 3, p. 819-24, Mar 2011. ISSN 1533-4287 (Electronic)

1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20512066> >.

LIM, J. M.; CHIA, M. Y. Reliability of power output derived from the nonmotorized treadmill test. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 3, p. 993-6, Aug 2007. ISSN 1064-8011 (Print)

1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17685692> >.

LIMA, M. C. et al. A semi-tethered test for power assessment in running. **Int J Sports Med**, v. 32, n. 7, p. 529-34, Jul 2011. ISSN 1439-3964 (Electronic)

0172-4622 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21563027> >.

LIMA, M. C. S. **Padronização do teste de corrida atada em velocistas: análise da relação entre potência e desempenho em corrida**. 2007. 95 (Mestrado). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro.

MCGRAW, K. O.; WONG, S. P. Forming Inferences About Some Intraclass Correlation Coefficients **Psychological Methods**, v. 1, n. 1, p. 30-46, 1996.

MCKENNA, M.; RICHES, P. E. A comparison of sprinting kinematics on two types of treadmill and over-ground. **Scand J Med Sci Sports**, v. 17, n. 6, p. 649-55, Dec 2007. ISSN 0905-7188 (Print)

0905-7188 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17331083> >.

MORIN, J. B.; EDOUARD, P.; SAMOZINO, P. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 9, p. 1680-8, Sep 2011. ISSN 1530-0315 (Electronic)

0195-9131 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21364480> >.

MORIN, J. B.; SEVE, P. Sprint running performance: comparison between treadmill and field conditions. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 8, p. 1695-703, Aug 2011. ISSN 1439-6327 (Electronic)

1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21210279> >.

MORIN, J. B. et al. High-intensity sprint fatigue does not alter constant-submaximal velocity running mechanics and spring-mass behavior. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 4, p. 1419-28, Apr 2012. ISSN 1439-6327 (Electronic)

1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21826454> >.

MYLES, W. S.; TOFT, R. J. A cycle ergometer test of maximal aerobic power. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 49, n. 1, p. 121-9, 1982. ISSN 0301-5548 (Print)

0301-5548 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7201923> >.

NEDELJKOVIC, A. et al. Evaluation of Margaria staircase test: the effect of body size. **Eur J Appl Physiol**, v. 100, n. 1, p. 115-20, May 2007. ISSN 1439-6319 (Print)

1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17273883> >.

NUMMELA, A. et al. Reliability and validity of the maximal anaerobic running test. **Int J Sports Med**, v. 17 Suppl 2, p. S97-102, Jul 1996. ISSN 0172-4622 (Print)

0172-4622 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8844272> >.

OSTERAS, H.; HELGERUD, J.; HOFF, J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 3, p. 255-63, Dec 2002. ISSN 1439-6319 (Print)

1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12458369> >.

PAPOTI, M. et al. Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 2, p. 538-42, May 2007. ISSN 1064-8011 (Print)

1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17530932> >.

PAPOTI, M. et al. Uso de células de carga para mensuração da força dos membros inferiores em nado ondulatório. **Revista portuguesa de ciências do desporto**, v. 7, n. 3, p. 313-318, 2007.

PATTON, J. F.; DUGGAN, A. An evaluation of tests of anaerobic power. **Aviat Space Environ Med**, v. 58, n. 3, p. 237-42, Mar 1987. ISSN 0095-6562 (Print)

0095-6562 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3579806> >.

POPADIC GACESA, J. Z.; BARAK, O. F.; GRUJIC, N. G. Maximal anaerobic power test in athletes of different sport disciplines. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 3, p. 751-5, May 2009. ISSN 1533-4287 (Electronic)

1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19387405> >.

RATEL, S. et al. Effects of age and mode of exercise on power output profiles during repeated sprints. **Eur J Appl Physiol**, v. 92, n. 1-2, p. 204-10, Jun 2004. ISSN 1439-6319 (Print)
1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15045504> >.

RIBEIRO, L. F. et al. **Reliability of performance measures in non-motorized treadmill sprints in non-habituated subjects**. no prelo: 20 p. 2013.

ROSEGUINI, A. Z.; SILVA, A. S. R. D.; GOBATTO, C. A. Determinações e Relações dos Parâmetros Anaeróbios do RAST, do Limiar Anaeróbio e da Resposta Lactacidêmica Obtida no Início, no Intervalo e ao Final de uma Partida Oficial de Handebol. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 14, n. 1, p. 46-50, 2008. ISSN 1806-9940. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922008000100009> >.

ROSS, R. E. et al. The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 2, p. 385-94, Mar 2009. ISSN 1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19204566> >.

SARGEANT, A. J.; HOINVILLE, E.; YOUNG, A. Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. **J Appl Physiol**, v. 51, n. 5, p. 1175-82, Nov 1981. ISSN 0161-7567 (Print)
0161-7567 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7298457> >.

SOUSA, F. A. B. et al. **Field measures of horizontal force, velocity and power in sprint by the semi-tethered running system and comparisons with laboratory tethered run data**. unpublished work: 14 p. 2013.

SPRAGUE, R. C. T. et al. Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 2, p. 358-64, Feb 2007. ISSN 0195-9131 (Print)
0195-9131 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17277601> >.

STOJANOVIC, M. D. et al. Correlation between explosive strength, aerobic power and repeated sprint ability in elite basketball players. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 52, n. 4, p. 375-81, Aug 2012. ISSN 0022-4707 (Print)
0022-4707 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22828459> >.

TONG, R. J. et al. Reliability of power output measurements during repeated treadmill sprinting in rugby players. **J Sports Sci**, v. 19, n. 4, p. 289-97, Apr 2001. ISSN 0264-0414 (Print)

0264-0414 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11311027> >.

TSUCHIE, H. et al. Assessment of sprinting abilities using a resistant self-driven treadmill. **International Journal of Sport and Health Science**, v. 6, p. 85-90, 2008.

VAN INGEN SCHENAU, G. J.; JACOBS, R.; DE KONING, J. J. Can cycle power predict sprint running performance? **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 63, n. 3-4, p. 255-60, 1991. ISSN 0301-5548 (Print)
 0301-5548 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1761017> >.

VANDEWALLE, H.; PERES, G.; MONOD, H. Standard anaerobic exercise tests. **Sports Med**, v. 4, n. 4, p. 268-89, Jul-Aug 1987. ISSN 0112-1642 (Print)
 0112-1642 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3306867> >.

VESCOVI, J. D. Sprint speed characteristics of high-level American female soccer players: Female Athletes in Motion (FAiM) study. **J Sci Med Sport**, v. 15, n. 5, p. 474-8, Sep 2012. ISSN 1878-1861 (Electronic). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22516691> >.

VINCENT, S. et al. Plasma glucose, insulin and catecholamine responses to a Wingate test in physically active women and men. **Eur J Appl Physiol**, v. 91, n. 1, p. 15-21, Jan 2004. ISSN 1439-6319 (Print)
 1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14551777> >.

WALDRON, M. et al. Movement and physiological match demands of elite rugby league using portable global positioning systems. **J Sports Sci**, v. 29, n. 11, p. 1223-30, Aug 2011. ISSN 1466-447X (Electronic)
 0264-0414 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21774752> >.

WITTEKIND, A. et al. Warm-up effects on muscle oxygenation, metabolism and sprint cycling performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 3129-39, Aug 2012. ISSN 1439-6327 (Electronic)
 1439-6319 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22212861> >.

ZACHAROGIANNIS, E.; PARADISIS, G.; TZIORTZIS, S. An Evaluation of Tests of Anaerobic Power and Capacity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 5, p. S116, 2004.

ZAGATTO, A. M.; BECK, W. R.; GOBATTO, C. A. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance

performances. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 6, p. 1820-7, Sep 2009. ISSN
1533-4287 (Electronic)
1064-8011 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19675478>>.