UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Influência do treinamento de força sobre a estratégia de prova e o desempenho
de corredores de longa distância em um teste contrarrelógio de 10 km

MAYARA VIEIRA DAMASCENO

São Paulo
2015

MAYARA VIEIRA DAMASCENO

Influência do treinamento de força sobre a estratégia de prova e o desempenho de corredores de longa distância em um teste contrarrelógio de 10 km

VERSÃO CORRIGIDA

(versão original disponível no Serviço de Biblioteca)

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

São Paulo

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: DAMASCENO, Mayara Vieira

Título: Influência do treinamento de força sobre a estratégia de prova e o desempenho de corredores de longa distância em um teste contrarrelógio de 10 km.

.

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Aos meus pais, Ana Maria e Manoel Eraldo, meus maiores motivos de orgulho e inspiração.

AGRADECIMENTOS

O desejo de estudar na USP veio acompanhado da distância da minha família. E essa sempre foi a parte mais difícil. Por ter conseguido cumpri-la, preciso agradecer a muita gente que fez com que esse sonho se tornasse realidade.

Primeiramente, agradeço a Deus, por sempre me abençoar e permitir que esse caminho fosse trilhado em paz.

A “*painho*” e “*mainha*”, pelo amor e apoio incondicional. Obrigada por comemorar comigo todas as minhas conquistas, por nunca medirem esforços para me dar o melhor e por tanta dedicação à criação de seus filhos. Vocês que sempre me disseram que a educação é o bem mais precioso que os pais podem deixar para os filhos, saibam que meu doutorado é mais uma prova do que vocês fizeram por mim. Nunca vou ter palavras suficientes para agradecer a vocês.

Aos meus irmãos Maryana e Matheus, os melhores e mais engraçados do mundo. Mesmo à distância, obrigada por sempre me fazerem sorrir, por transformarem fatos corriqueiros nas piadas mais engraçadas e por fazerem minha vida mais completa. Vocês só me fazem querer chegar mais longe, pra que eu continue tentando ser motivo de inspiração pra meus irmãos mais novos.

Ao meu tio Afonso, que me recebeu de braços abertos quando cheguei a São Paulo e me deu o apoio inicial que precisei.

A toda minha família, em especial minha tia Amparo e meu tio Romilton, por acreditarem no meu sucesso e por todas as caronas do aeroporto pra minha casa em Maceió!

Às minhas melhores amigas Robertta e Gisa, por não deixarem a distância e o tempo abalarem nossa amizade e por serem pessoas que eu sempre pude (e posso) contar.

Ao Léo. Meu namorado. Você foi mais do que importante, foi essencial. Não sei o que seria de mim aqui sem você. Obrigada por me fazer enxergar a vida sempre pelo lado positivo, a rir dos meus próprios erros e por estar ao meu lado 24 horas por dia. Ter você comigo torna tudo

mais leve, mais fácil, e te ter ao meu lado me torna uma pessoa cada dia melhor. Obrigada por me mostrar que sempre há algo novo a ser aprendido e por ser a pessoa que me ensina tudo isso! Te amo!

A todos os amigos do GEDAE-USP e do LADESP, Rogério, Carlos Rafaell, Marcos, Renata, Beto, Salomão, Rafael, Ramon e Patrícia, que estiveram juntos comigo todos os dias, compartilhando todas as fases desse processo, seja ajudando na coleta de dados e assistindo minhas apresentações de projeto, ou ouvindo reclamações quando algo não saía como o planejado e comemorando juntos quando os aparelhos funcionavam! No fim tudo deu certo!

Ao Dr. Felipe Hardt, que sempre esteve disposto a auxiliar em tudo que foi preciso.

Ao Edson, técnico do LADESP, pela ajuda com materiais, equipamentos e impressões.

Ao Professor Adriano, meu primeiro orientador, que me mostrou a possibilidade de entrar na USP e abriu as portas de uma nova fase na minha vida.

Ao meu orientador, Professor Rômulo Bertuzzi, pela dedicação ao seu trabalho e aos seus alunos. Obrigada pela paciência e pelos conselhos. Muitas vezes você acreditou mais em mim do que eu mesma, mostrando que era possível insistir. Também tenho que agradecer pelos puxões de orelha. Além do profissional, você sempre se preocupou com a nossa formação pessoal, e isso é mais um motivo que te faz diferente. Você é um exemplo de profissional e de pessoa, e eu espero ter aprendido um pouco com você.

A todos os voluntários que participaram da pesquisa e disponibilizaram tempo e boa vontade para a realização de todos os testes.

Ao Professor Valmor Tricoli, pela disponibilização dos equipamentos e do espaço necessário para a realização do período de treinamento dos corredores no Laboratório de Adaptação ao Treinamento de Força.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão do auxílio financeiro para a realização da pesquisa e da bolsa de estudo.

À Ilza, Márcio, Mariana, Maria e Paulo, da Comissão de Pós Graduação, pela eficiência extraordinária em resolver todas as questões sempre que precisei.

Agradeço de coração a todos que de alguma forma contribuíram para a versão final desse trabalho. Muito obrigada!

“Dar menos que seu melhor é sacrificar o dom que você recebeu”.

(Prefontaine)

RESUMO

DAMASCENO, M. V. **Influência do treinamento de força sobre a estratégia de prova e o desempenho de corredores de longa distância em um teste contrarrelógio de 10 km.** 2015. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O objetivo do presente estudo foi analisar o impacto de oito semanas de um programa de treinamento de força sobre a estratégia de prova e o desempenho de corredores de longa distância durante uma prova contrarrelógio de 10 km. Antes e após a fase de intervenção com o programa de treinamento de força, dezoito corredores recreacionais divididos nos grupos treinamento (GT) ($n = 9$) e controle (GC) ($n = 9$) foram submetidos aos seguintes testes: *a*) antropometria e teste progressivo até a exaustão voluntária, *b*) teste com velocidade submáxima constante, *c*) simulação de uma prova de 10 km para análise da estratégia de prova, *d*) teste de drop jump, *e*) teste de wingate, *f*) teste de uma repetição máxima (1RM) e *g*) teste de tempo limite. A atividade eletromiográfica dos músculos vasto medial e bíceps femoral foi medida durante o teste de 1RM. No GT, a magnitude de melhora para o 1RM ($23,0 \pm 4,2\%$, $P = 0,001$), drop jump ($12,7 \pm 4,6\%$, $P = 0,039$), e velocidade de pico na esteira ($2,9 \pm 0,8\%$, $P = 0,013$) foi significativamente maior em relação ao GC. Este aumento do 1RM para o GT foi acompanhado por uma tendência a uma maior atividade eletromiográfica ($P = 0,080$). A magnitude de melhora no desempenho na prova de 10 km foi maior (2,5%) no GT que no GC ($-0,7\%$, $P = 0,039$). O desempenho foi melhorado principalmente devido a velocidades mais elevadas durante as últimas sete voltas (últimos 2800 m) da prova de 10 km. No entanto, não houve diferenças significativas antes e após o período de treinamento para o padrão de estratégia de prova utilizada, consumo máximo de oxigênio, ponto de compensação respiratória, economia de corrida e desempenho anaeróbio para ambos os grupos ($P > 0,05$). Em conclusão, estes resultados sugerem que, embora um programa de treinamento de força não altere a estratégia de prova adotada, ele oferece um potente estímulo para combater a fadiga durante as últimas partes de uma corrida de 10 km, resultando em um melhor desempenho total.

Palavras-chave: teste progressivo máximo; força dinâmica máxima; economia de corrida; desempenho; corredores recreacionais.

ABSTRACT

DAMASCENO, M. V. **Influence of strength training on pacing strategy and performance in long distance runners in a 10-km running time trial.** 2015. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

The aim of the present study was to analyze the impact of an 8-week strength-training program on performance and pacing strategy adopted by runners during a self-paced endurance running. Eighteen endurance runners were allocated into either strength training group (STG, $n = 9$) or control group (CG, $n = 9$) and performed the following tests before and after the training period: *a*) anthropometric measures and maximal incremental treadmill test, *b*) running speed-constant test, *c*) 10-km running time trial, *d*) drop jump test, *e*) 30-s Wingate anaerobic test, *f*) maximum dynamic strength test (1RM), *g*) time to exhaustion test. Electromyographic activity of *vastus medialis* and *biceps femoris* was measured during 1RM test. In the STG, the magnitude of improvement for 1RM ($23.0 \pm 4.2\%$, $P = 0.001$), drop jump ($12.7 \pm 4.6\%$, $P = 0.039$), and peak treadmill speed ($2.9 \pm 0.8\%$, $P = 0.013$) was significantly higher compared to CG. This increase in the 1RM for STG was accompanied by a tendency to a higher electromyographic activity ($P = 0.080$). The magnitude of improvement for 10-km running performance was higher (2.5%) for STG than for CG (-0.7%, $P = 0.039$). Performance was improved mainly due higher speeds during the last seven laps (last 2800 m) of the 10-km running. Nevertheless, there were no significant differences between before and after training period for pacing strategy, maximal oxygen uptake, respiratory compensation point, running economy, and anaerobic performance for both groups ($P > 0.05$). In conclusion, these findings suggest that, although a strength-training program does not alter the pacing strategy, it offers a potent stimulus to counteract fatigue during the last parts of a 10-km running, resulting in an improved overall running performance.

Key words: maximal incremental treadmill test, maximal dynamic strength, running economy, performance, recreational runners.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	Representação gráfica das estratégias de prova positiva (a), negativa (b), parabólica (c) e constante (d).....	19
FIGURA 2 –	Time line do desenho experimental. Sessão 1 – antropometria (Ant) e familiarização 1 no meio agachamento e no drop jump (F1). Sessão 2 – familiarização 2 no meio agachamento e no drop jump (F2) e teste de wingate (W). Sessão 3 – teste de economia de corrida (EC). Sessão 4 – teste progressivo até a exaustão (TPE). Sessão 5 – 10 km em pista (10 km). Sessão 6 – drop jump (DJ) e 1RM no meio agachamento (1RM). Sessão 7 – Teste de tempo limite (Tlim). TF – treinamento de força.....	53
FIGURA 3 –	Percentual de mudança de variáveis neuromusculares do pré para o pós treinamento nos grupos treinamento de força e controle.....	62
FIGURA 4 –	Força dinâmica máxima dos membros inferiores determinada a partir do teste de uma repetição máxima no exercício de meio agachamento antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	63
FIGURA 5 –	Intensidade de treino aplicada em cada semana de treinamento expressa como percentual da força dinâmica máxima (1 RM).....	63
FIGURA 6–	Velocidade e percepção subjetiva de esforço durante o teste contrarrelógio de corrida de 10 km.....	65
FIGURA 7 –	Trechos da prova de 10 km demonstrando onde as maiores velocidades foram encontradas nos dois grupos.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	Impacto do treinamento de força sobre parâmetros fisiológicos e neuromusculares determinantes do desempenho em provas de longa duração.....	42
TABELA 2 –	Variáveis morfológicas e fisiológicas de corredores de elite de diferentes países/continentes.....	48
TABELA 3 –	Progressão da carga do treinamento de força.....	58
TABELA 4 –	Características antropométricas e idade dos participantes antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	59
TABELA 5 –	Variáveis mensuradas durante o teste progressivo até a exaustão e o teste de economia de corrida antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	60
TABELA 6 –	Variáveis neuromusculares mensuradas durante o teste de drop jump antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	61
TABELA 7 –	Variáveis mecânicas mensuradas durante o teste anaeróbio de Wingate antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	61
TABELA 8 –	Tempo até a exaustão e variáveis fisiológicas mensuradas durante o teste de tempo limite na velocidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.....	61

LISTA DE ABREVIACÕES

1 RM – Uma repetição máxima
AS – Altura de salto
BF – Bíceps femoral
CVM – Contração voluntária máxima
DJ – Drop jump
EC – Economia de corrida
EP – Estratégia de prova
FC – Frequência cardíaca
GC – Grupo controle
GT – Grupo treinamento
iEMG – Atividade eletromiográfica
IFR – Índice de força reativa
LV – Limiar ventilatório
MAOD – Máximo déficit acumulado de oxigênio
MART – Teste de corrida anaeróbio máximo
PCR – Ponto de compensação respiratória
PM – Potência média
PP – Potência de pico
PSE – Percepção subjetiva de esforço
SCM – Salto com contramovimento
SMT – *Stiffness* musculotendíneo
SNC – Sistema nervoso central
TC – Tempo de contato
TDF – Taxa de desenvolvimento de força
TF – Treinamento de força
Tlim – Tempo limite
TPE – Teste progressivo até a exaustão
VM – Vasto medial
 $\dot{V}O_2\text{máx}$ – Consumo máximo de oxigênio
 $v\dot{V}O_2\text{máx}$ – Velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{máx}$
VPE – Velocidade de pico na esteira
W – Teste de wingate

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Estratégia de prova	18
2.1.1 Estratégia positiva	20
2.1.2 Estratégia negativa	21
2.1.3 Estratégia parabólica	22
2.1.4 Estratégia constante	24
2.2 Fatores que influenciam a escolha da estratégia de prova	25
2.2.1 Regulação da estratégia de prova	25
2.2.2 Fatores psicológicos	27
2.2.2.1 Influência do adversário	27
2.2.2.2 Conhecimento do ponto final do evento e <i>feedback</i> incorreto da distância	29
2.2.2.3 Influência da música	31
2.2.3 Fatores ambientais	32
2.2.3.1 Temperatura	32
2.3 Fatores fisiológicos e neuromusculares	33
2.4 Adaptações neuromusculares ao treinamento de força	36
2.4.1 Adaptações neurais	36
2.4.2 Adaptações estruturais	38
2.4.3 Adaptações metabólicas	40
2.5 Treinamento de força aplicado aos esportes de longa duração: Adaptações neurais, estruturais, metabólicas e suas transferências para o desempenho físico	41
2.5.1 Consumo máximo de oxigênio	45
2.5.2 Economia de corrida	47
2.5.3 Velocidade no $\dot{V}O_2$ máx e tempo até a exaustão na $v\dot{V}O_2$ máx	50
3 MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1 Participantes	52
3.2 Desenho experimental	52
3.3 Antropometria	53
3.4 Teste progressivo até a exaustão voluntária	53
3.5 Teste de economia de corrida	54
3.6 Teste de 1 RM	55
3.7 Simulação da prova de 10 km	55
3.8 Teste de wingate	56
3.9 Drop jump	56
3.10 Tempo até a exaustão na velocidade do $\dot{V}O_2$ máx (T_{lim})	56
3.11 Análise da atividade eletromiográfica	57
3.12 Treinamento de força	58
3.13. Análise estatística	58

4 RESULTADOS	59
5 DISCUSSÃO.....	67
6 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	72
ANEXOS	84

1 INTRODUÇÃO

A compreensão dos fatores limitantes do sucesso nos esportes cíclicos e de longa duração tem sido objeto de estudo nas ciências do esporte desde o início do século passado (HILL; LUPTON, 1923). Além das variáveis tradicionalmente relacionadas ao desempenho nesses esportes (ex: consumo máximo de oxigênio, limiares metabólicos e economia de corrida) (COSTILL, 1967; CONLEY; KRAHENBUHL, 1980; TANAKA et al., 1983), muitos estudos têm utilizado o tempo até a exaustão em testes de carga constante como critério de desempenho (HICKSON, et al. 1988; HOFF et al., 2002). Todavia, este tipo de teste pode não representar precisamente a relação com o desempenho, haja vista que a velocidade de corrida adotada pelos atletas durante uma situação real de prova apresenta uma considerável variação (TUCKER et al., 2006a; THIEL et al., 2012).

Nesse sentido, diversos estudos têm demonstrado que a escolha da estratégia de prova é um dos fatores que pode interferir diretamente no resultado final de uma competição (JONES et al., 2008; AISBETT et al., 2009). O termo estratégia de prova (EP) se refere à maneira pela qual os atletas distribuem a velocidade e, conseqüentemente, o gasto energético durante um evento competitivo (ABBISS; LAURSEN, 2008; JONES et al., 2008; STONE et al., 2011). Visto que a escolha de uma EP é dependente de fatores intrínsecos e extrínsecos ao atleta (ST CLAIR GIBSON et al., 2006; LIMA-SILVA et al., 2010), analisar a EP naturalmente adotada e verificar quais variáveis podem influenciar nessa escolha significa representar mais precisamente o que ocorre durante uma competição.

De fato, estudos prévios têm demonstrado que alguns fatores psicofisiológicos são capazes de influenciar a EP escolhida pelos atletas (ST CLAIR GIBSON et al., 2006; FAULKNER et al., 2008). Faulkner et al. (2008) relataram que durante corridas de longa distância (11 e 21 km), a distribuição de velocidade em relação a distância da prova era caracterizada por um perfil de “U”, enquanto a percepção subjetiva de esforço (PSE) aumentava de forma linear, independentemente das mudanças na velocidade de corrida. Tem sido hipotetizado que este perfil linear da PSE reflete um sistema de controle centralmente regulado, que monitora padrões biomecânicos de movimento e do metabolismo muscular, na tentativa de minimizar o estresse fisiológico e prevenir o término prematuro do exercício (ULMER, 1996).

Adicionalmente, alguns estudos sugerem que a interpretação de múltiplos sinais internos utilizados no monitoramento da EP pode ser originária dos sistemas fisiológicos e neuromuscular. Por exemplo, Lima-Silva et al. (2010) observaram que corredores de longa

distância que possuíam maior economia de corrida, maior velocidade de pico na esteira (VPE) e menor concentração de lactato a 15 km.h^{-1} quando comparado a outro grupo de corredores, foram capazes de adotar uma EP mais agressiva, provavelmente devido aos reduzidos sinais aferentes durante a corrida. Por sua vez, usando um modelo de regressão múltipla, um estudo recente de nosso grupo de pesquisa mostrou que a força dinâmica máxima (1RM), a VPE e o $\dot{V}O_2\text{máx}$ explicaram 80% da variação de velocidade durante a parte média (400 – 9600 m) de uma corrida de 10 km (BERTUZZI et al., 2013). Interessantemente, a VPE, que integra potência aeróbia máxima e características anaeróbias dos membros inferiores, foi a única variável capaz de prever o *sprint* final (últimos 400 m), respondendo sozinha por 66% da variação de velocidade. Uma proposição interessante a partir desses achados é que intervenções capazes de alterar estas características neuromusculares e fisiológicas, e, portanto, os sinais aferentes originários dos músculos, podem permitir aos atletas mudarem a EP (LAMBERT et al., 2005). Contudo, ainda é desconhecido se a EP pode ser alterada em resposta a adaptações nesses parâmetros produzidas pelo treinamento físico.

Ao longo das últimas três décadas tem aumentado o número de estudos que demonstraram a importância de programas de treinamento de força (TF) para a melhora de variáveis relacionadas ao desempenho em provas de longa duração (HICKSON et al., 1980; STØREN et al., 2008; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011). Støren et al. (2008) reportaram significantes aumentos na força dinâmica máxima (~33%), na economia de corrida (5%) e no tempo até a exaustão na velocidade aeróbia máxima (~21%) após 8 semanas de TF realizado por corredores de longa distância. De maneira similar, Mikkola et al. (2011) observaram um aumento significativo na velocidade de pico na esteira (~3%) em corredores fundistas após 8 semanas de TF, ao passo que Taipale et al. (2010) encontraram uma maior atividade eletromiográfica (EMG) dos extensores da perna e uma melhora do desempenho anaeróbio em um grupo similar de atletas. Essas adaptações contribuiriam para alterar o padrão de recrutamento das unidades motoras e a capacidade de produzir e manter a aplicação de força durante a corrida. Isso parece especialmente importante durante os estágios finais de uma corrida, quando os atletas atingem as maiores velocidades. De fato, achados prévios demonstraram que a velocidade de corrida e a EMG dos membros inferiores foram aumentadas durante a volta final de uma corrida contrarrelógio de 5 km, o que sugere que os atletas aumentaram o seu recrutamento muscular, apesar do desenvolvimento da fadiga (NUMMELA et al., 2006). Assim, pode-se esperar que uma maior força muscular após um programa de TF poderia ser acompanhada por um *sprint* final mais rápido.

Apesar dos estudos citados anteriormente relatarem que o TF é capaz de melhorar variáveis fisiológicas e neuromusculares relacionadas com o desempenho em provas de longa duração, ao menos em nosso conhecimento nenhum estudo examinou se as adaptações oriundas do TF têm algum impacto na EP adotada pelos atletas durante uma corrida de longa distância. Portanto, o objetivo do presente estudo foi analisar o impacto de oito semanas de um programa de TF sobre a EP durante uma corrida contrarrelógio de 10 km. Ao considerar as modificações nas variáveis fisiológicas e neuromusculares obtidas através do TF, a hipótese do nosso estudo é que tais modificações influenciariam a EP dos corredores, levando a um melhor desempenho na prova de 10 km após o programa de TF.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o impacto de um programa de oito semanas de treinamento de força sobre a estratégia de prova adotada por corredores recreacionais e o desempenho durante uma corrida contrarrelógio de 10 km¹.

1.1.2 Objetivos específicos

Foram objetivos específicos dessa tese de doutorado analisar o impacto de um programa de treinamento de força sobre:

- a) parâmetros neuromusculares, tais como a atividade eletromiográfica dos membros inferiores, a força e a potência muscular;
- b) variáveis fisiológicas e mecânicas, tais como a economia de corrida, o $\dot{V}O_2$ máx, o tempo até a exaustão na $v\dot{V}O_2$ máx, a velocidade de pico, a capacidade e a potência anaeróbia de membros inferiores.

¹ O principal artigo científico originário dessa tese foi publicado em Damasceno et al. Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. Eur J Appl Physiol. 115(7): 1513-22, 2015 (ANEXO I).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estratégia de prova

A maximização do desempenho esportivo pode ser considerada o principal objetivo dos cientistas do esporte e de treinadores nas mais diversas modalidades. Dentro deste contexto, deve-se levar em conta uma variedade de fatores que influencia no treinamento do atleta e no resultado de uma competição. Entre estes fatores, a estratégia de prova tem sido considerada um dos mais importantes nos últimos anos (DE KONING et al., 2011; CORBETT et al., 2012; DAMASCENO et al., 2013). A estratégia de prova (EP) se refere ao modo pelo qual o atleta distribui a sua velocidade durante uma determinada competição. De modo geral, em todas as provas de atletismo, sejam elas de velocidade, fundo e meio fundo, além de esportes como remo e ciclismo, o atleta adota uma EP com o objetivo de alcançar o ponto final do exercício no tempo mais rápido possível, sem que haja exaustão antes do fim do evento (ST CLAIR GIBSON et al., 2006; TUCKER, 2009).

De acordo com Abbiss e Laursen (2008), o principal fator a ser considerado na escolha da melhor EP é a duração do evento esportivo em questão. As principais EP encontradas na literatura são a positiva (*fast start*), a negativa (*slow start*), a parabólica e a constante. A Figura 1 demonstra uma representação da distribuição de velocidade em cada uma das EP citadas. A EP positiva (painel A da Figura 1) parece ser indicada em provas mais curtas, com até cinco minutos de duração. É necessário destacar que o termo “positivo” refere-se à velocidade na parte inicial da prova, portanto, este perfil de EP se caracteriza por um início mais rápido, com declínio de velocidade ao longo da prova.

Por sua vez, o perfil de velocidade oposto ao da EP positiva é denominado estratégia negativa (painel B da Figura 1), já que a velocidade inicial é menor e tende a aumentar em direção ao final da prova. A junção das EP positiva e negativa dá origem ao terceiro perfil citado, a EP parabólica (painel C da Figura 1). A característica marcante deste perfil de estratégia é a presença do *sprint* final, evidenciado pelo aumento significativo da intensidade na parte final da prova, após a aceleração inicial e um período de menor velocidade na parte média. A corrida de 10 km, considerada de longa duração entre as provas de atletismo, é um exemplo de prova onde essa EP é geralmente adotada. Por fim, há a EP constante (painel D da Figura 1), que tem como principal característica a manutenção de uma velocidade constante durante toda a prova.

Figura 1. Representação gráfica das estratégias de prova positiva (a), negativa (b), parabólica (c) e constante (d).

De acordo com Tucker (2009), a EP pode ser estudada de duas maneiras diferentes. A primeira é observar qual a EP espontaneamente adotada pelos atletas. Isto permite que fatores externos (por exemplo, temperatura) sejam manipulados para verificar quais mecanismos poderiam ser responsáveis por modificações na EP utilizada. A segunda maneira é interferir diretamente nesta EP, manipulando determinadas partes da prova para que se possa compreender quais modificações psicológicas e/ou fisiológicas ocorrem no atleta e, a partir disso, tentar melhorar seu desempenho.

Todavia, é importante destacar que, dependendo da EP utilizada, as respostas metabólicas podem ser diferentes e desencadear eventos fisiológicos relacionados à fadiga aguda (BISHOP et al., 2002). A manipulação da largada pode ser utilizada para exemplificar essa situação. Se por um lado uma saída mais rápida poderia acelerar a taxa de quebra de fosfocreatina e aumentar o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) durante a transição do repouso para o esforço físico (HANON et al., 2008; TURNES et al., 2014), por outro lado isso poderia aumentar demasiadamente os valores de lactato sanguíneo ou da percepção subjetiva de esforço (PSE) (THOMPSON et al., 2003). Consequentemente, uma saída acelerada demais poderia prejudicar o desempenho final do atleta. Nesse sentido, os tópicos a seguir relatam em quais eventos os perfis de EP citados acima são geralmente utilizados e quais as principais respostas obtidas pelos pesquisadores quando a EP é manipulada, englobando assim, as duas maneiras de estudar a estratégia de prova.

2.1.1 Estratégia positiva

Como anteriormente descrito, a EP positiva (ou *fast start*) é caracterizada pelo declínio gradual da velocidade ao longo da distância (ABBISS; LAURSEN, 2008). Frequentemente, esse tipo de EP é observado em provas de até cinco minutos de duração, tais como a corrida de 800 m (~ 112 s) (SANDALS et al., 2006), a natação estilo peito nas distâncias de 100 (~ 65 s) e 200 m (~ 141 s) (THOMPSON et al., 2000) e o remo de 2000 m (330 – 460 s) (GARLAND et al. 2005).

Ao analisarem nadadores de elite, Thompson et al. (2000) observaram que, no estilo peito e nas distâncias de 100 e 200 m, a EP preferencialmente adotada nas duas provas foi a positiva, onde a velocidade da primeira parcial (50 m) foi a mais rápida, diminuindo gradativamente ao longo da prova. Este perfil de EP também foi encontrado por Tucker et al. (2006a) ao analisarem os recordistas mundiais na corrida de 800 m. Esses autores relataram que as maiores velocidades foram alcançadas na primeira volta de 400 m, caracterizando, portanto o uso da EP positiva. Por sua vez, quando este perfil de EP foi comparado com a negativa e a constante em um exercício de alta intensidade, Jones et al. (2008) descreveram que o tempo até a exaustão foi significativamente maior com o uso da EP positiva.

Teoricamente, essa forma de distribuição da velocidade deve-se ao fato de provas com essas durações induzirem a uma progressiva diminuição da capacidade de geração de potência muscular, ocasionada por um grande acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga aguda e uma aumentada PSE, o que resulta na redução na intensidade do exercício (TUCKER, 2009). Porém, mesmo com esta diminuição de intensidade ao final da prova, parece que a maior produção de potência na primeira parte é suficiente para obter um desempenho superior com este tipo de EP (TUCKER et al., 2006a; CORBETT, 2009). De fato, Tucker et al. (2006a) reportaram que, entre 26 recordes mundiais analisados na corrida de 800 m, em 24 deles a primeira volta foi significativamente mais rápida que a segunda.

Além dos mecanismos supracitados, diversos autores sugerem que a EP positiva pode melhorar o desempenho através da aceleração da cinética do $\dot{V}O_2$ (HANON et al., 2008; JONES et al., 2008; AISBETT et al., 2009; BAILEY et al., 2011). Bailey et al. (2011) demonstraram que uma prova de três minutos de ciclismo de alta intensidade resultou em um maior trabalho total e uma maior produção de potência durante o *sprint* final quando a EP positiva foi comparada tanto com a negativa quanto com a constante. Esses autores sugeriram que o balanço de ATP é proporcional às mudanças na concentração de fosfocreatina por unidade de tempo. Desta forma, a EP positiva permitiria uma maior taxa de redução na concentração de fosfocreatina no início do exercício, o que seria associado com um aumento

mais rápido no $\dot{V}O_2$. Em virtude de um menor déficit de oxigênio, esse processo resultaria em uma menor utilização do metabolismo anaeróbio no início do exercício, permitindo a utilização dessa via metabólica na parte final da prova.

De maneira similar, Bishop et al. (2002) atribuíram à cinética mais rápida do $\dot{V}O_2$ a melhora do desempenho dos atletas em uma prova de dois minutos de caiaque com o uso da EP positiva. Um aumento no $\dot{V}O_2$ inicial elevaria a ressíntese de ATP via processos oxidativos (HANON et al., 2008). Desse modo, assumindo não haver nenhuma mudança na produção anaeróbia de ATP, uma cinética mais rápida do $\dot{V}O_2$ melhoraria o desempenho por aumentar o ATP total disponível para sustentar o exercício (BISHOP et al., 2002).

Assim, parece que a eficácia acerca do uso da EP positiva é superior aos outros perfis de EP quando as provas em questão são de alta intensidade e curta duração. Essa resposta positiva no desempenho se deve em grande parte pelo mecanismo de aceleração da cinética do $\dot{V}O_2$, aumentando a contribuição oxidativa no início do exercício e “poupando” as reservas anaeróbias para a parte final do evento.

2.1.2 Estratégia negativa

O aumento gradativo na velocidade é a principal característica da EP negativa (ABBISS; LAURSEN, 2008). Teoricamente, este perfil de EP é superior aos demais quando são analisadas provas mais longas, como o 40 km de ciclismo (BINI et al., 2008), já que neste tipo de competição a fase de aceleração tem uma menor contribuição no tempo total do evento quando comparada a provas mais curtas. Além disso, a EP negativa parece ser benéfica por reduzir a taxa de depleção de glicogênio muscular (ABBISS; LAURSEN, 2005) e limitar o acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga (MATTERN et al., 2001).

Por exemplo, no estudo de Mattern et al. (2001), observou-se que em uma prova de ciclismo de 20 km na qual foram manipulados os primeiros 4 minutos com diferentes EP, a EP negativa produziu menores valores de lactato sanguíneo e um maior $\dot{V}O_2$. Essa menor concentração de lactato no início da prova influenciou diretamente no resultado final, pois a alta concentração de lactato vista nas demais EP (positiva e constante) foi associada com a menor capacidade dos atletas de manter uma alta intensidade, diminuindo a produção de potência. Os autores argumentaram que a acidose advinda da alta concentração de lactato pode ser tolerada em provas curtas (1–4 km) sem significativa mudança no perfil de velocidade produzido pelo atleta. Porém, os atletas são forçados a diminuir a produção de

potência em provas mais longas, demonstrando que a alta intensidade inicial teve um impacto direto no resultado final da prova.

Já no estudo de Bini et al. (2008), foi observado que em uma prova de ciclismo de 40 km a EP negativa foi espontaneamente adotada pelos atletas, demonstrada através de um aumento na produção de potência em direção ao final da prova. Esta maior produção de potência foi acompanhada por um aumento na EMG do vasto lateral. Além disso, foi verificada uma alta correlação da potência mecânica externa com a EMG do vasto lateral ($r = 0,95$) e do reto femoral ($r = 0,94$), indicando que o controle da produção de potência estava relacionado com a ativação destes músculos.

Por outro lado, Aisbett et al. (2003) não verificaram diferenças no desempenho, no $\dot{V}O_2$ e no acúmulo de lactato sanguíneo em um exercício máximo de seis minutos de ciclismo quando as EP negativa, positiva e constante foram comparadas. Em parte, os autores atribuíram estes resultados ao reduzido tamanho da amostra ($n=6$), fator que, devido à variação individual dentro do grupo, pode ter mascarado pequenas diferenças significativas entre os três tipos de EP. Além disso, talvez a característica da prova (curta duração e alta intensidade) tenha sido responsável pelas divergências encontradas entre este estudo e os de Mattern et al. (2001) e Bini et al. (2008), o que ressalta a importância da duração da prova na escolha da melhor EP.

Em resumo, a maior parte dos estudos acerca dessa temática sugere que o benefício da utilização da EP negativa em provas mais longas reside no fato dela minimizar o acúmulo antecipado de metabólitos relacionados à fadiga e assim não prejudicar o desempenho final do atleta. Isso parece ser especialmente importante em eventos esportivos com duração superior a 30 minutos.

2.1.3 Estratégia parabólica

A EP denominada parabólica pode ser vista como resultado da junção das EP positiva e negativa, pois ela tem como princípio uma largada mais rápida (positiva), seguida por um declínio da velocidade até a parte média da prova, quando ocorre novamente um aumento na intensidade na última parte do evento (negativa) (ABBISS; LAURSEN, 2008).

Ao analisarem a EP utilizada por recordistas mundiais em corridas de uma milha entre os anos de 1886 e 1999, Noakes et al. (2009) detectaram que o tempo necessário para percorrer a primeira ($57,8 \pm 1,9$ s) e a última volta ($58,3 \pm 3,5$ s) era estatisticamente menor ($p < 0,05$) quando comparado com o tempo necessário para percorrer a segunda ($60,6 \pm 2,9$ s) e terceira ($61,3 \pm 3,5$ s) voltas. Esses dados demonstram que a EP parabólica é comumente

utilizada por atletas profissionais em competições de alto nível. Por sua vez, ao caracterizar as EP utilizadas por atletas de elite em campeonatos mundiais de natação realizados entre os anos de 2006 a 2010, um estudo conduzido pelo nosso grupo identificou que o uso da estratégia parabólica era o mais comum nas provas de 800 e 1500 m estilo crawl (DAMASCENO et al., 2013). Este aumento da intensidade próximo ao fim do evento indica que, durante a parte média do exercício, o atleta adota uma intensidade que é submáxima relativa à sua capacidade próxima ao ponto final (TUCKER, 2009). Isto pode ser evidenciado pela velocidade alcançada na última parte da prova, que muitas vezes pode chegar a ser igual ou maior que a velocidade inicial (LIMA-SILVA et al., 2010).

Em outro estudo realizado em colaboração com o nosso grupo de pesquisa (LIMA-SILVA et al., 2010), foi demonstrado que esse perfil de EP também era adotado espontaneamente por atletas de corrida de fundo. Foi detectado que os corredores de 10 km classificados como de melhor desempenho (tempo nos 10 km = <35,6 min), começavam a prova em uma velocidade mais alta do que a média de velocidade da corrida, diminuía gradativamente no trecho médio da prova e aceleravam no final, sendo que esta velocidade não foi significativamente diferente do início da prova. Além disso, também foi observado que os corredores com menor nível de desempenho (tempo nos 10 km = >39,1 min) adotaram uma EP mais conservadora, com uma distribuição mais uniforme da velocidade ao longo da prova, similar à EP constante.

De uma perspectiva fisiológica, acredita-se que a vantagem dessa maior intensidade inicial encontrada na EP parabólica pode ser explicada pelos mesmos mecanismos atribuídos à EP positiva. Maiores taxas de quebra de fosfocreatina são necessárias durante uma saída mais rápida para suprir a demanda das maiores velocidades empregadas. Isto fornece um estímulo para o aumento no $\dot{V}O_2$ (BISHOP et al., 2002), que por sua vez pode diminuir o déficit de oxigênio no início da corrida (LIMA-SILVA et al., 2010).

Outra característica marcante deste tipo de EP é a presença do *sprint* final. Apesar dos mecanismos responsáveis pela realização desse *sprint* não estarem bem elucidados, sugere-se que este aumento na intensidade do exercício na parte final da prova pode ser explicado através de um modelo de teleantecipação (ULMER, 1996). Tem-se proposto que, a partir de um processo considerado antecipatório, o atleta regula a distribuição da velocidade a partir do conhecimento prévio da distância total do evento. Deste modo, ao conhecer previamente o ponto final a ser alcançado, o atleta sabe, em teoria, quando deve aumentar ou diminuir a intensidade da prova para que o *sprint* final não seja prejudicado (ULMER, 1996; NIKOLOPOULOS et al., 2001; ST CLAIR GIBSON et al., 2006).

Por sua vez, Mauger et al. (2012) afirmaram que a presença do *sprint* final pode representar uma capacidade de reserva que só pode ser acessada quando a fadiga prematura é improvável. Além desta explicação, esses autores sugerem também que o *sprint* final pode ser o resultado de uma mudança na tática da competição como resultado da estratégia dos outros competidores ou ainda um erro nas seções anteriores da prova, causando um ritmo de trabalho menor que o ideal.

2.1.4 Estratégia constante

A EP constante tem como característica principal a manutenção de um ritmo relativamente estável, de modo que a velocidade permanece sempre em torno de uma média durante toda a prova (ABBISS; LAURSEN, 2008). A grande maioria dos trabalhos investigou a EP constante comparando-a com outros perfis de EP, sendo poucos os que demonstraram este perfil de EP espontaneamente adotado em provas específicas. Por exemplo, um dos primeiros estudos a demonstrar a superioridade deste perfil de EP em relação às demais foi realizado por Foster e colaboradores na década de 90. Nesse estudo, ciclistas foram instruídos a realizarem cinco provas de 2 km com diferentes EP durante o primeiro quilômetro. Foi observado que os tempos mais rápidos foram encontrados quando a EP constante foi utilizada (FOSTER et al., 1994). Porém, os autores não possuíam medidas que elucidassem os mecanismos responsáveis por estas diferenças.

Por sua vez, Thompson et al. (2003) compararam três tipos de EP (constante, negativa e positiva) durante um evento de 200 m de natação estilo peito. Observou-se que a EP constante produziu menores valores de lactato sanguíneo pós-exercício e um menor índice de percepção de esforço, indicando que com a adoção desse tipo de EP ocorre um menor estresse físico nos nadadores. Além disso, a frequência de braçadas no início da prova detectada na EP constante foi menor do que na positiva, o que pode fazer com que os nadadores desenvolvam mais tardiamente a fadiga local, mantendo a técnica por mais tempo.

Interessantemente, estudos com provas mais longas observaram que a EP constante não foi a mais eficaz. Por exemplo, Billat et al. (2006) demonstraram que em uma prova de 10 km de corrida, este tipo de EP obteve uma maior demanda fisiológica (considerando $\dot{V}O_2$, frequência cardíaca e concentração de lactato sanguíneo) quando comparada à EP livre. De forma similar, a EP constante também não foi responsável por um melhor desempenho no estudo de Gosztyla et al. (2006), quando corredores executaram uma prova de 5 km com a primeira parte (1,63 km) realizada em três diferentes velocidades (constante, positiva 3% ou positiva 6%).

Dessa forma, parece que a escolha da EP ideal pode estar relacionada não apenas à duração da prova como sugerido por Abbiss e Laursen (2008), mas também às características extrínsecas da modalidade esportiva em questão. Por exemplo, em modalidades como a natação, em que a resistência da água é maior que a resistência do ar, grandes variações na velocidade podem resultar em maior custo energético (ZAMPARO et al., 2005), fazendo com que o desempenho total dos atletas seja otimizado quando a aceleração e a desaceleração são minimizados (SWAIM, 1997).

2.2 Fatores que influenciam a escolha da estratégia de prova

Embora a escolha da EP seja dependente do tempo de duração e das características extrínsecas dos eventos esportivos, existem vários fatores intrínsecos que estão associados ao controle da EP. Esta regulação parece estar ligada diretamente à habilidade do atleta de resistir à fadiga, apesar dos mecanismos exatos responsáveis por isso serem pouco claros (ABBISS; LAURSEN, 2008). De acordo com Joseph et al. (2008), a EP para realizar uma certa tarefa no tempo mais curto possível é parte de um programa motor integrado que leva em consideração a capacidade de produzir potência, a experiência prévia de esforços similares e *feedbacks* de receptores centrais e periféricos. Dentro desse contexto, existem alguns mecanismos de controle que tentam explicar como a EP é controlada durante o exercício e como fatores intrínsecos e extrínsecos podem afetar a EP adotada (ULMER, 1996; ST. CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004; LAMBERT et al., 2005), os quais são discutidos nos próximos subtópicos dessa revisão de literatura.

2.2.1 Regulação da estratégia de prova

Um dos mecanismos de controle mais utilizados para explicar como a EP é regulada durante competições atléticas é a teleantecipação (ULMER, 1996). O modelo de teleantecipação é um sistema de controle que sugere que o sistema nervoso central (SNC) estabelece subconscientemente uma potência externa máxima que pode ser seguramente sustentada sem mudanças extremas nos diferentes sistemas fisiológicos (ULMER, 1996). Através deste sistema, o cérebro tem de realizar cálculos complexos em que são levadas em consideração as reservas metabólicas, o quanto destas reservas estão sendo utilizadas no momento e o tempo necessário para concluir o exercício. A partir dessas informações, o atleta é capaz de ajustar a intensidade ideal do esforço para concluir o exercício de maneira ótima.

Tendo como base o modelo de Ulmer (1996), St. Clair Gibson e Noakes (2004) propuseram um mecanismo de controle denominado modelo do governador central. Esse

modelo sugere que, teoricamente, o SNC modifica continuamente o ritmo do atleta a partir de um sistema dinâmico, complexo e não linear que media as mudanças na ativação neural na tentativa de otimizar o desempenho e prevenir mudanças críticas à homeostase. Também é previsto por esse modelo que a produção de potência (taxa de trabalho) é continuamente ajustada com base nos cálculos metabólicos realizados subconscientemente pelo SNC.

Em outras palavras, sugeriu-se que o controle eferente dos músculos esqueléticos durante o exercício é determinado centralmente através de uma integração complexa de sinais aferentes periféricos, da PSE e da experiência que o atleta possui naquela tarefa (LAMBERT et al., 2005). Isto permite a seleção da EP ótima para se completar a tarefa no modo mais eficiente possível enquanto é mantida uma capacidade de reserva fisiológica e metabólica (ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004). Por exemplo, a partir de *feedbacks* aferentes vindos de numerosos sistemas fisiológicos, Tucker (2009) propuseram que a PSE seria a manifestação consciente das mudanças fisiológicas ocorrendo durante o exercício, podendo assim contribuir para a regulação da intensidade aplicada.

Contudo, um fato interessante que se opõe a essa teoria ocorreu em 2012, no *Payton Jordan Cardinal Invitation*, tradicional campeonato de atletismo organizado pela Universidade de Stanford. Durante a prova de 5000 m, o atleta sudanês Lopez Lomong errou a contagem das voltas e, pensando que restava apenas uma volta, iniciou o *sprint* final faltando 800 m para o fim da corrida. Após completar a volta, quando já estava diminuindo a velocidade, ouviu avisos que faltava mais uma volta. Então Lomong acelerou novamente e ganhou a corrida, estabelecendo o melhor tempo do ano nos 5000 m (13min11s63). De acordo com o modelo do governador central, o atleta não teria conseguido acelerar novamente, visto que ele teria calculado a intensidade máxima para a penúltima volta, já que pensava ser a última da prova.

Pode-se ainda citar outros exemplos. Um deles é observar atletas de elite desistindo da prova. Considerando o modelo proposto por Noakes et al. (2004), se a intensidade está demasiadamente alta, o sistema de *feedbacks* vindos da periferia envia esta informação ao cérebro, fazendo com que a velocidade do atleta diminua para ele conseguir continuar sem maiores danos aos sistemas fisiológicos. Todavia, se o atleta “quebra”, é sinal que isso não ocorre e ele para. Adicionalmente, ainda há estudos que induziram uma saída rápida e observaram melhoras no desempenho (GOSZTYLA et al., 2006). Por exemplo, no estudo de Gosztyla et al. (2006), corredores realizaram uma prova de 5 km com o primeiro 1,63 km em três diferentes velocidades: a) velocidade igual à média do melhor tempo de prova, b) 3% mais rápido e c) 6% mais rápido que a média do melhor tempo. Foi observado que as provas 3

e 6% mais rápidas produziram melhores desempenhos comparadas à primeira situação, resultado que vai de encontro ao modelo de Noakes, visto que a melhor intensidade não foi escolhida pelo atleta e, mesmo assim, o desempenho deles foi superior nas situações impostas.

Portanto, algumas considerações acerca de um sistema centralmente regulado devem ser realizadas. Como anteriormente citado, a principal característica do modelo do governador central é a regulação da produção de potência para permitir ao atleta alcançar o ponto final do exercício o mais rápido possível sem induzir uma falha catastrófica nos sistemas fisiológicos. Isso poderia ocorrer se a velocidade escolhida pelo atleta fosse excessiva em algum ponto durante o evento (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Porém, se o ajuste da intensidade proposto pela teoria do governador central é preciso o suficiente, não faria sentido o atleta parar antes do término da prova ou melhorar o desempenho quando a intensidade é imposta e não escolhida naturalmente. Assim, é importante não atribuir a existência de uma hierarquia do sistema nervoso central para o periférico em todas as situações, já que estudos com carga constante podem apresentar mecanismos de fadiga distintos de estudos realizados com EP, o que levaria a uma generalização equivocada do modelo teórico apresentado.

Em resumo, apesar de algumas possíveis limitações, os mecanismos de controle que regulam a EP durante o exercício têm como principal objetivo monitorar e ajustar o uso das reservas fisiológicas de forma a permitir que o atleta finalize a tarefa o mais rápido possível, mantendo a homeostase fisiológica. Assim, tendo em mente que o princípio que regem estes mecanismos de controle é similar, os tópicos a seguir discorrem como fatores psicológicos, ambientais e fisiológicos podem interferir na EP adotada de acordo com a explicação dos mecanismos de controle citados anteriormente.

2.2.2 Fatores psicológicos

2.2.2.1 Influência do adversário

A inclusão de atletas marcadores de ritmo comumente chamados de “coelhos” é bastante comum nas competições de alto nível. Apesar da grande quantidade de evidências empíricas relatando a importância desse fato, ainda não há suficiente embasamento na literatura científica que mostre, realmente, os benefícios para os atletas que tem o ritmo de corrida estabelecido pelos coelhos, com os poucos estudos existentes demonstrando resultados contraditórios.

Por exemplo, Perrault et al. (1998) mostraram, em uma simulação de ciclismo de doze minutos, que os competidores pedalavam mais rápido quando perdiam a liderança da prova. Os autores explicam que experimentar o chamando “impulso psicológico” (fator influenciado

por motivação, confiança e percepção de controle) levava a uma melhora no desempenho em tarefas que exigem um alto grau de esforço. Portanto, estes achados indicam que os atletas podem modificar a EP previamente estabelecida em resposta ao adversário, na tentativa de recuperar a posição de líder.

Os achados de Perrault et al. (1998) são corroborados pelo estudo de Corbett et al. (2012). Esses autores submeteram ciclistas treinados a uma prova contrarrelógio de 2000 m realizada individualmente ou uma situação onde o ciclista acreditava estar competindo contra outro atleta. Nesta segunda situação, o tempo de prova foi mais rápido quando comparado a prova que ele realizou sozinho. Além disso, este tempo mais rápido foi acompanhado por uma modificação na EP adotada, com velocidades maiores nos últimos 1000 m da prova na situação contra outro competidor.

Similarmente, um recente estudo do nosso grupo de pesquisa também observou melhora no desempenho de corredores que realizaram uma prova na presença de adversários se comparada à prova que foi realizada individualmente (TOMAZINI et al., 2015). Nesse estudo, corredores recreacionais foram submetidos a uma simulação de corrida de 3 km, realizada coletiva ou individualmente. Os autores observaram que na condição coletiva os atletas adotaram uma saída mais agressiva, com maiores velocidades nos primeiros 500 m, resultando em um melhor desempenho total nessa condição.

Por outro lado, Bath et al. (2012) realizaram um estudo com o objetivo de observar a influência de um segundo competidor na EP e na PSE de corredores recreacionais durante corridas de 5 km. Os atletas realizaram duas corridas individuais e três corridas com a presença de um segundo corredor. Nessas três corridas, o segundo corredor permanecia à frente do atleta, atrás do atleta ou próximo a ele. Apesar de os corredores acharem que a presença do segundo corredor foi benéfica para o desempenho, os autores não encontraram diferenças significativas na EP adotada, na PSE ou no desempenho.

Todavia, deve-se destacar que talvez o desenho experimental utilizado por Bath et al. (2012) não tenha possibilitado encontrar as diferenças inicialmente suspeitadas. Como o segundo corredor era instruído a se manter sempre na posição estabelecida (à frente, atrás ou próximo ao atleta), talvez o fator motivacional não tenha sido suficiente para aumentar o desempenho do atleta, já que não havia perda ou troca de posições. Além disso, os autores supõem que a EP previamente estabelecida não tenha se modificado devido aos atletas serem de nível recreacional, já que atletas de elite são capazes de tolerar maiores distúrbios na homeostase na tentativa de ganhar a competição (BATH et al., 2012).

Adicionalmente, é necessário destacar que em competições reais, atletas de alto nível podem modificar sua estratégia dependendo da etapa do campeonato que está sendo realizado. Por exemplo, Muehlbauer e Melges (2011) compararam a EP adotada nas eliminatórias e nas finais em sete campeonatos mundiais de remo entre os anos de 2001 e 2009. Os autores observaram que o padrão de distribuição de velocidade durante as eliminatórias foi mais bem representado por uma linha de tendência linear, enquanto uma linha de tendência quadrática (similar à estratégia parabólica) foi a que melhor explicou as finais. A resposta para estas diferenças pode estar na característica da competição. Como as primeiras disputas são eliminatórias, quando os atletas percebem que conseguiram um tempo suficiente para passar para as próximas fases, eles ajustam a velocidade, diminuindo-a em direção ao fim da corrida. Porém, como na etapa final a habilidade das equipes é mais homogênea, todas têm que realizar a prova no menor tempo possível, o que explica o *sprint* ao final da prova.

Interessantemente, no estudo de Thiel et al. (2012), os autores observaram que nas finais de atletismo de 1500 m a 10000 m na Olimpíada de Pequim em 2008, o resultado foi decidido por diferenças no *sprint* final, com os atletas alcançando suas velocidades de pico nos últimos 400 m. Assim, parece que realizar uma competição na presença de um adversário pode modificar a EP, sobretudo pelo fator motivacional. Isso faz com que os atletas ajustem a velocidade de prova de modo a melhorar o desempenho na tarefa pretendida, principalmente no cenário de alto nível, onde a colocação final muitas vezes é mais importante que o tempo total de prova.

2.2.2.2 Conhecimento do ponto final do evento e *feedback* incorreto da distância

Dentre os fatores conhecidos por influenciar a EP, vários autores sugerem que o mais importante no estabelecimento da EP é o conhecimento do ponto final do evento (ULMER, 1996; ST CLAIR GIBSON et al., 2006; ABBISS; LAURSEN, 2008). Como anteriormente apresentado, no modelo de teleantecipação proposto por Ulmer (1996), o conhecimento do ponto final do exercício é de primordial importância para que o cérebro consiga criar um algoritmo particular para determinado exercício. Assim, a produção de potência ou velocidade pode ser ajustada mais precisamente.

No estudo de Coquart e Garcin (2008), esses autores objetivaram analisar o efeito do conhecimento prévio do comprimento do evento sobre a PSE. Os voluntários realizaram três testes de intensidade similar (90% da velocidade aeróbia máxima), porém com o comprimento diferentemente expresso (ponto final desconhecido, sabendo somente a duração ou somente a distância a ser percorrida). Foi observado que a PSE foi significativamente menor quando o

teste de ponto final desconhecido foi comparado com o teste de distância conhecida. A partir destes resultados, foi suposto que a ausência do conhecimento do comprimento da prova provavelmente influenciou a PSE devido ao processo de teleantecipação. Através desse modelo, o cérebro estima subconscientemente um comprimento máximo que pode ser sustentado. Essa estimativa é associada com a PSE máxima que o voluntário considera tolerável. Na situação com ponto final desconhecido, foi sugerido que os valores da PSE relatados pelos participantes seriam dados de acordo com um máximo tolerável abaixo de 20, havendo assim a redução da PSE quando comparada à prova com a distância conhecida.

Por sua vez, um estudo realizado por Mauger et al. (2009) mostrou que, além do conhecimento prévio da distância, a experiência do atleta na prova a ser realizada é um fator a ser levado em consideração no estabelecimento da EP. Nesse estudo, os autores submeteram ciclistas treinados ($\dot{V}O_2\text{máx} = 61 \pm 5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) a quatro provas de 4 km de ciclismo, porém a única informação dada anteriormente à realização das provas era que todas elas possuíam a mesma distância, sem informar que distância seria essa. Para um segundo grupo de ciclistas foi dito que as provas possuíam a distância de 4 km e era dado *feedback* do quanto já tinha sido percorrido durante as provas. Os autores observaram que quando o tempo e a produção de potência da primeira prova de cada grupo foram comparados, houve uma diferença significativa entre eles, com o grupo que conhecia a distância realizando a prova em um menor tempo e com uma maior produção de potência. Contudo, a magnitude dessa diferença foi diminuída ao longo das provas seguintes, de forma que na última prova de cada grupo não foram detectadas diferenças significativas entre elas, com a média de tempo sendo apenas 0,5% diferente entre os grupos. Os autores destacam que, a cada prova completada, os atletas eram capazes de adquirir um conhecimento relativo da distância mais preciso, sugerindo que é possível adotar uma EP bem sucedida baseado somente na experiência prévia (MAUGER et al., 2009).

Especificamente com relação ao papel do *feedback* externo no desempenho, esse mesmo autor investigou se o fornecimento de *feedback* visual afetaria a EP e o tempo para completar uma prova de ciclismo de 4 km (MAUGER et al., 2011). Os atletas realizaram uma primeira prova (*baseline*) sem *feedback*, e a partir do desempenho nela o *feedback* era dado (correto ou incorretamente) para as provas posteriores. Os autores observaram que a prova com o *feedback* correto foi realizada em um tempo significativamente mais rápido comparada à situação de falso *feedback*. Além disso, na primeira condição os atletas foram capazes de realizar o *sprint* final, aumentando a velocidade na última parte da prova, situação que não se repetiu na prova com o falso *feedback*.

Os mecanismos responsáveis por estes achados envolvem o papel da motivação e a criação de “moldes” para aquele determinado exercício. Por exemplo, se é dito que o atleta está mais lento que a prova *baseline*, ele pode ajustar a intensidade de acordo com o molde construído para esta prova, sabendo que algum possível erro ocorreu e que é capaz de aumentar a velocidade, ajustando assim a EP (MAUGER et al., 2011). Por sua vez, Wilson et al. (2012) compararam a influência do *feedback* no desempenho de uma prova de 16 km de ciclismo comparando quatro situações (*feedback* correto, falso positivo (+ 5% da potência realmente gerada), falso negativo (- 5%) e sem nenhum *feedback*). Os autores não observaram diferenças na potência média e no tempo final quando as quatro situações foram comparadas. Porém, a EP foi diferente entre a situação de *feedback* correto e as outras três situações, nas quais a segunda parte da prova foi realizada com uma velocidade significativamente mais lenta em relação à primeira metade.

Nesse sentido, parece que o *feedback* é capaz de influenciar a EP adotada. Porém ainda é inconclusivo se tal alteração da EP é capaz de melhorar o desempenho em provas de curta e média duração. Além disso, futuros estudos poderiam investigar os principais mecanismos psicofisiológicos responsáveis pela melhora do desempenho mediante a presença de *feedbacks*.

2.2.2.3 Influência da música

É cada vez mais comum observar pessoas se exercitando ao som de música. Empiricamente, pode-se afirmar que a simples presença da música durante a prática de exercícios ou durante competições amadoras tem a capacidade de interferir nos aspectos psicológicos das pessoas, embora dessa forma não se possam ter respostas cientificamente válidas sobre o desempenho. Por outro lado, pesquisadores têm procurado desvendar quais os mecanismos que explicariam diferentes respostas psicológicas e de desempenho envolvendo a música durante o exercício.

Alguns estudos sugerem que a influência da música pode ser observada através de respostas psicofísicas, como PSE e afetividade (ATKINSON et al., 2004; LIMA-SILVA et al., 2012). Tem sido sugerido que a música é capaz de interferir na resposta da PSE, reduzindo os valores desta variável durante exercícios de moderada a alta intensidade (POTTEIGER et al., 2000; NETHERY, 2002). No trabalho de Potteiger et al. (2000), foram realizados quatro sessões de 20 minutos de ciclismo a 70% do $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. A PSE foi significativamente maior na condição controle quando comparada às outras três condições,

que continham diferentes tipos de música. Porém, nesse estudo não houve medida de desempenho, o que limita a comparação com outros trabalhos.

Por sua vez, Chtourou et al. (2012) demonstraram que a adição de música durante 10 minutos de aquecimento levou a uma produção de potência (potência média e de pico) significativamente maior durante o teste de wingate quando este foi comparado à condição sem música durante o aquecimento. Similarmente, Simpson e Karageorghis (2006) mostraram que o efeito ergogênico da música também pôde ser observado em uma corrida de 400 m, visto que a condição com música aumentou o desempenho dos atletas quando comparado a condição sem música.

Além da influência sobre o desempenho total, Lima-Silva et al. (2012) demonstraram que a música pode influenciar a EP adotada durante uma corrida de 5 km. Nesse estudo, homens fisicamente ativos realizaram duas corridas controle e duas com a presença da música no primeiro 1,5 km ($M_{\text{início}}$) ou no último 1,5 km (M_{final}). Os principais achados foram que a velocidade média do primeiro 1,5 km foi significativamente maior na condição $M_{\text{início}}$ que na condição controle, com uma redução nos pensamentos associativos neste trecho para a primeira condição. Todavia, a PSE não foi diferente entre as condições. Em conjunto, esses achados sugerem que a música afeta alguns fatores psicológicos, como foco de atenção e afetividade, permitindo os participantes aumentarem a velocidade com uma mesma PSE (LIMA-SILVA et al., 2012). Portanto, essas evidências demonstram a capacidade da música de agir positivamente como um auxílio ergogênico, influenciando no estado psicológico dos participantes, podendo resultar em um melhor desempenho durante provas de curta a média duração.

2.2.3 Fatores ambientais

2.2.3.1 Temperatura

Talvez o fator ambiental mais estudado pela sua grande influência no desempenho seja a temperatura ambiente. Diversos estudos têm sido conduzidos na tentativa de explicar os mecanismos pelos quais este fator pode desempenhar um papel tão importante no resultado final de um evento esportivo (TUCKER et al., 2004; ABBISS et al., 2010; BARWOOD et al., 2011). Em um estudo realizado por Tucker et al. (2004), os atletas foram submetidos a duas provas de ciclismo de 20 km, sendo uma à temperatura de 15°C (frio) e outra a 35°C (quente). Os autores observaram que a produção de potência na condição quente começou a declinar progressivamente a partir dos primeiros 30% da distância total da prova, sendo significativamente menor que na condição frio dos 80% da prova até o final. Isto resultou em

uma potência média significativamente menor, o que, em conjunto com um maior tempo para completar a prova prejudicou o desempenho total na condição quente quando comparada à condição frio.

Um comportamento similar da potência foi observado em outro estudo de Tucker et al. (2006b). Nesse estudo, os participantes realizaram provas de ciclismo a 15°, 25° e 35°C, sendo instruídos a manterem uma PSE pré-determinada, que correspondia a 16 na escala de Borg. Foi observado que a produção de potência declinou de maneira linear nas três condições, sendo essa taxa de declínio significativamente maior na condição quente (35°). A explicação para os achados desses estudos é similar. Segundo esses autores, tais respostas fazem parte de um mecanismo antecipatório, que ajusta a potência e o recrutamento muscular para reduzir a produção de calor, garantindo que a homeostase termal seja mantida (TUCKER et al., 2004).

Similarmente, Abbiss et al. (2010) estudaram a influência da temperatura na produção de potência e na ativação muscular em uma prova de 100 km de ciclismo (estratégia auto selecionada) em um ambiente quente (34°) ou frio (10°). Foi observado um menor desempenho no ambiente quente, com redução na ativação muscular e na produção de potência a partir do quilômetro 28 até o final da prova. A explicação para os achados destes estudos partem do princípio que em exercícios contrarrelógio, em que a intensidade é auto selecionada, a potência é ajustada na tentativa de impedir aumentos precoces na temperatura. Acredita-se que esta redução na produção de potência seja uma evidência de uma redução antecipatória na ativação muscular para evitar a obtenção de temperaturas centrais críticas (TUCKER et al., 2004; ABBISS et al., 2010). Portanto, parece que este mecanismo de controle é compatível com a ideia da EP regulada centralmente, onde a redução na intensidade do exercício ocorre de forma a prevenir o desenvolvimento de um nível prejudicial de calor.

2.3 Fatores fisiológicos e neuromusculares

Se os mecanismos de controle propostos para ajustar a intensidade do exercício baseiam-se em *feedbacks* vindos da periferia para construírem informações na tentativa de regular a intensidade do exercício, deve-se destacar a importância de fatores fisiológicos e neuromusculares na escolha de determinada EP.

Em relação às variáveis fisiológicas, a concentração inicial de glicogênio muscular parece ser uma das mais relevantes para o controle da EP, pois as respostas metabólicas ao exercício parecem ser determinadas largamente por esta variável (RAUCH et al. 2005). No estudo de Rauch et al. (2005) foi observado que, durante uma hora de ciclismo, uma dieta

carregada em carboidrato administrada aos ciclistas melhorou a produção de potência média e a velocidade alcançada quando comparada à mesma prova com uma dieta normal. Além disso, foi notado que, apesar dos sujeitos começarem ambas as provas em uma taxa de trabalho aproximada e terminarem com a mesma quantidade de glicogênio independente da dieta, um minuto após o início do teste a potência externa na prova com a dieta carregada em carboidrato foi em média 14 W maior quando comparada a dieta normal. Isso demonstra a mudança na EP feita entre os minutos 1 e 2 da prova. Portanto, pode-se pressupor que um objetivo da EP adotada durante exercícios prolongados é terminar o exercício com uma concentração de glicogênio muscular específica.

Além da concentração de glicogênio, evidências prévias sugerem que o padrão de distribuição das reservas aeróbias e anaeróbias também pode influenciar a EP adotada. No estudo de Hettinga et al. (2006), esses autores demonstraram que em provas de 4 km de ciclismo realizadas com diferentes EP (constante, positiva e negativa) nos primeiros 2 km, o perfil da EP foi definido pela distribuição da potência anaeróbia. De acordo com de Konning et al. (1999), a principal diferença entre as EP é a variação de velocidade através da regulação do gasto energético, e assim, do padrão da produção de potência. Desta forma, um dos principais achados do estudo de Hettinga et al. (2006) foi que, enquanto a potência aeróbia aumentou até o fim da prova independente da EP, a potência anaeróbia acompanhou as mudanças na produção de potência total. Portanto, estes resultados sugerem que diferentes EP podem ser influenciadas principalmente pela variação na contribuição do metabolismo anaeróbio, visto que a quantidade de energia gerada por este metabolismo é limitada (HETTINGA et al., 2006).

Não obstante, deve-se ressaltar também o papel de variáveis tradicionalmente relacionadas com o desempenho em provas de longa duração, como a economia de corrida e a velocidade de pico (VP) mensurada ao final de um teste progressivo até a exaustão. Nesse contexto, Lima-Silva et al. (2010) analisaram a influência destas variáveis sobre a EP adotada por corredores de diferentes níveis de desempenho em uma corrida de 10 km. Os autores observaram uma alta correlação entre a VP e todas as parciais de velocidade durante a prova de 10 km ($r = 0,88$, $p < 0,05$). Além disso, foi verificado que o grupo de corredores classificado como alto nível realizou os primeiros 400 m em um percentual acima da sua VP (105,2%), diferentemente do grupo de nível inferior (92,0%). O primeiro grupo também era energeticamente mais econômico e capaz de empregar maiores velocidades na parte inicial da prova, quando comparado ao segundo grupo. Esses resultados sugerem que essas variáveis são determinantes na escolha da EP durante uma corrida de 10 km.

Além das variáveis citadas anteriormente, diversos estudos sugeriram que as características neuromusculares dos membros inferiores são fundamentais para o sucesso nas provas de corrida de longa duração (PAAVOLAINEN et al., 1999a; NUMMELA et al., 2008). Estas características estão relacionadas à ativação neural reflexa ou voluntária, produção de força, elasticidade muscular e mecânica de corrida (HÄKKINEN, 1994; JUNG, 2003). Por exemplo, Paavolainen et al. (1999a) demonstraram que corredores de 10 km classificados como “alta *performance*” possuíam um menor tempo de contato e uma maior pré-ativação durante a fase de propulsão quando comparados a corredores “baixa *performance*”, destacando a importância de produzir força rapidamente para o desempenho neste esporte.

Por sua vez, Nummela et al. (2008) encontraram correlações significativas entre a diminuição de velocidade durante uma prova de 5 km e o aumento no tempo de contato com o solo ($r = -0,92$), e entre o aumento no tempo de contato com o solo e a diminuição da pré-ativação ($r = -0,80$). Esses resultados sugerem que as mudanças na regulação do *stiffness* musculotendíneo podem ter um papel importante na redução de velocidade durante uma prova de 5 km (NUMMELA et al., 2008). Além disso, em outro estudo os mesmos pesquisadores encontraram uma associação entre a velocidade da volta final (144 m) em uma corrida de 5 km e a velocidade em um teste anaeróbio máximo, sugerindo que a capacidade de transferir energia anaerobiamente é decisiva nas corridas em distância durante a volta final (NUMMELA et al., 2006).

Adicionalmente, um estudo recente do nosso grupo de pesquisa (BERTUZZI et al., 2014) determinou através de um modelo de regressão múltipla as variáveis que melhor explicariam a EP adotada durante uma corrida de 10 km. Os autores observaram que na parte média da prova (400 – 9600 m) a velocidade de pico, o $\dot{V}O_2\text{máx}$ e a força dinâmica máxima explicaram 80% da variação de velocidade. Por sua vez, apenas a velocidade de pico (66%) explicou os 400 m finais da corrida de 10 km. Esses achados parecem ter considerável relevância, haja vista a quantidade de estudos (NOAKES et al., 1990; STOREN et al., 2008; GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010) demonstrando a importância destas variáveis para o desempenho de corredores fundistas.

Outra importante variável capaz de influenciar a EP é o alongamento estático. Damasceno et al. (2014) submeteram corredores recreacionais a duas corridas de 3 km, sendo uma delas com um período prévio de alongamento estático. Os autores observaram que, na situação com alongamento, os corredores iniciaram a prova em uma velocidade significativamente menor quando comparada a condição controle. Visto que também houve

uma menor altura no salto vertical pós alongamento, essa diminuição na velocidade foi atribuída a um prejuízo na função neuromuscular. Em conjunto, estes achados demonstraram o papel fundamental do sistema periférico na velocidade auto selecionada durante a fase inicial da corrida.

Desta forma, ao considerar o impacto que o ritmo de prova pode promover no rendimento esportivo (DE KONNING et al., 1999), o atleta deve levar em consideração diversos fatores ao escolher a melhor EP (ABBISS; LAURSEN, 2008). Em resumo, o controle da EP ideal parece ser dependente de vários fatores intrínsecos (fisiológicos) e extrínsecos (ambientais, duração do evento, características inerentes das provas) que influenciam a intensidade do exercício e a escolha da EP mais apropriada, fazendo com que o atleta seja capaz de terminar a prova no menor tempo possível, mantendo a homeostase fisiológica.

2.4 Adaptações neuromusculares ao treinamento de força

2.4.1 Adaptações neurais

Durante a fase inicial do treinamento de força, observa-se um aumento na capacidade do músculo em gerar tensão sem uma concomitante mudança na morfologia e na arquitetura do músculo. Este aumento na força muscular é uma evidência das adaptações neurais que surgem logo após o início do treinamento. Genericamente, consideram-se como adaptações neurais as mudanças que ocorrem no sistema nervoso relacionadas à ativação, recrutamento e/ou desempenho de unidades motoras ou grupo muscular como um todo (JUNG, 2003). Estas adaptações podem incluir melhor recrutamento e sincronização de unidades motoras, melhor atividade reflexa e melhoras no ciclo alongamento-encurtamento (SALE, 1988; PAAVOLAINEN et al., 1999b; AAGARD et al., 2002).

Na tentativa de verificar as adaptações neurais após um período de treinamento, diversos autores têm empregado a medida da atividade eletromiográfica (EMG) (HAKKINEN; KOMI, 1986; PAAVOLAINEN et al., 1999a). A EMG se caracteriza pela soma da atividade elétrica das unidades motoras e de suas frequências de ativação (AAGAARD; MAYER, 2007) e alguns autores encontraram uma correlação positiva entre o aumento na força muscular e a resposta da EMG (HAKKINEN; KOMI, 1986). Desta forma, uma EMG elevada após um período de treinamento sugere um aumento do drive neural eferente para as fibras musculares (AAGAARD; MAYER, 2007). Por exemplo, Hakkinen e Komi (1986) demonstraram que após 12 semanas de treinamento de força máxima houve um aumento na força muscular e na EMG dos músculos extensores da perna (vasto medial e

lateral) de homens fisicamente ativos, enquanto Hakkinen et al. (2003) observaram um aumento na EMG do vasto lateral (+26%) com concomitante ganho na força muscular em homens saudáveis após 21 semanas de treinamento de força máxima/explosiva. Assim, pode-se afirmar que a medida da EMG é capaz de refletir mudanças na ativação muscular após um período de treinamento de força, podendo ser utilizada em estudos longitudinais como uma forma relativamente simples de demonstrar as adaptações neurais que ocorrem com o treinamento.

Associado a um aumento na EMG, Hakkinen et al. (2003) observaram também uma maior taxa de desenvolvimento de força (TDF) após um período de treinamento. A TDF ($\Delta\text{força}/\Delta\text{tempo}$) reflete a capacidade do sistema neuromuscular de gerar aumentos na força no início da contração, o que tem grande significado funcional durante movimentos rápidos e vigorosos, como na corrida de *sprint* (AAGARD et al., 2002; AAGARD, 2003). De fato, Aagard et al. (2002) detectaram um aumento na TDF após 14 semanas de treinamento de força máxima em homens saudáveis. Os autores afirmaram que o aumento no drive neural eferente em resposta ao treinamento pode primariamente refletir um aumento na frequência de disparo dos motoneurônios, como evidenciado por aumentos na amplitude do sinal eletromiográfico e na taxa de aumento da EMG na fase inicial da contração muscular (AAGARD et al., 2002).

Além do aumento da EMG nos músculos primariamente responsáveis por determinado movimento, alguns estudos também observaram que, após um período de treinamento de força, havia uma modificação na ativação dos músculos antagonistas, o que resultaria em uma melhor coordenação durante o movimento estudado (RUTHERFORD; JONES, 1986; HAKKINEN et al., 1998). Por exemplo, Hakkinen et al. (1998) observaram que a maior ativação dos músculos vasto medial e lateral durante a ação de extensão do joelho foi acompanhada por uma diminuição na coativação do bíceps femoral em idosos submetidos a seis meses de treinamento de força máxima combinado com exercícios de força explosiva. Essa menor coativação também foi encontrada em um grupo de corredores após 21 semanas de treinamento concorrente (HAKKINEN et al., 2003) e pode ter contribuído para aumentar o desenvolvimento de força dos músculos agonistas (HAKKINEN et al., 1998).

Diferenças na coordenação entre agonistas e antagonistas também podem ser observadas ao comparar a EMG de corredores de *sprint* com corredores de longa distância. Ao realizarem extensão e flexão de joelho máxima nestes dois grupos de corredores, Osternig et al. (1986) observaram que a coativação dos isquiotibiais do primeiro grupo foi quatro vezes maior do que a do segundo grupo durante a fase de extensão, onde estes músculos agem como

antagonistas. Por sua vez, Rutherford e Jones (1986) analisaram a reposta de doze semanas de treinamento de força dos extensores da coxa em homens saudáveis e atribuíram grande parte do acréscimo nas cargas de treino a um aumento na capacidade de coordenar outros músculos envolvidos no movimento, como aqueles usados para estabilizar o corpo.

Além da coordenação intermuscular, outra evidência de adaptação neural pode ser observada através do fenômeno denominado “educação cruzada” ou *cross education*. Na educação cruzada, o treinamento de um dos membros leva a aumentos na força não apenas do membro treinado, mas também no membro contralateral (SHIMA et al., 2002; MUNN et al., 2005). Por exemplo, Shima et al. (2002) encontraram aumentos na força de contração isométrica máxima e na EMG do membro contralateral após seis semanas de treinamento dos flexores plantares. Por sua vez, Munn et al. (2005) observaram que seis semanas de treinamento de flexão do cotovelo resultou em um aumento médio de 7% na força do membro contralateral. Visto que não houve aumento na área de secção transversa, esses autores atribuem o efeito contralateral do treinamento a uma melhorada ativação voluntária via recrutamento de unidades motoras e a um aumento na taxa de disparo através de mecanismos neurais centrais (MUNN et al., 2005).

Nesse sentido, os estudos citados anteriormente indicam que o treinamento de força resulta em diferentes adaptações neurais que, entre outros fatores, levam a um aumento na força e na coordenação muscular, o que parece ser de especial importância em diversas atividades diárias e modalidades esportivas. É importante destacar que essas adaptações podem ser observadas ainda na fase inicial do treinamento, visto que tanto estudos mais curtos (6 semanas) quanto mais longos (24 semanas), foram capazes de detectá-las (RUTHERFORD; JONES, 1986; HAKKINEN et al., 2003; MUNN et al., 2005).

2.4.2 Adaptações estruturais

Após a fase inicial do treinamento em que predominam as adaptações neurais, podem-se observar também modificações estruturais, ou seja, na morfologia e na arquitetura dos músculos. Entre as principais adaptações estão o aumento na área de secção transversa, aumento no ângulo de penação e aumento na área e no comprimento das fibras musculares (HAKKINEN et al., 2003; SEYNES et al., 2007; HOLM et al., 2008; REEVES et al., 2009).

Talvez a modificação estrutural mais estudada seja o aumento na área de secção transversa do músculo. Estudos com diferentes protocolos e duração de treinamento observaram este aumento em diversos músculos. Holm et al. (2008) aplicaram dois protocolos de treinamento em homens sedentários, no qual eles treinavam com intensidades leves (15%

de 1RM) ou com intensidades mais intensas (70% de 1RM). Após doze semanas de intervenção, os autores observaram um aumento na área de secção transversa do quadríceps nos dois grupos estudados (+3% no primeiro grupo e +8% no segundo grupo). Por sua vez, Ronnestad et al. (2010) mostraram que esta adaptação também ocorre em grupos previamente treinados aerobiamente, visto que os autores detectaram um aumento de 4,6% na área de secção transversa do quadríceps de ciclistas bem treinados após 12 semanas de treinamento de força.

Além da distinção nas amostras, estudos utilizando diferentes durações de treinamento também encontraram resultados similares em relação a esta variável. Por exemplo, Seynes et al. (2007) aplicaram um treinamento de força de alta intensidade e observaram que um período de apenas 35 dias foi suficiente para que fosse detectado um aumento de 7% na área de secção transversa do quadríceps, demonstrando que o método utilizado e o estímulo de treinamento adequado podem detectar hipertrofia antes do tempo geralmente descrito.

Outra variável que pode ser modificada através do treinamento é a área das fibras musculares. Hakkinen et al. (2003) observaram que 21 semanas de treinamento concorrente (somente força ou força combinado com endurance) em homens saudáveis aumentou a área das fibras tipo I, IIa e IIb. Da mesma forma, Staron et al. (1991) verificaram que 20 semanas de treinamento de força levou a hipertrofia dos três principais tipos de fibras (I, IIa e IIb) em mulheres destreinadas. Este aumento na área das fibras musculares também foi observado com menores períodos de treinamento. Por exemplo, Kadi et al. (2004) treinaram homens saudáveis 3 vezes por semana durante 3 meses, e observaram um aumento gradual na área de secção transversa das fibras musculares de 6,7% em 30 dias e 17% ao final dos 90 dias.

Assim como as fibras musculares, o fascículo muscular também parece responder a um período de treinamento de força. Tentando verificar a influência do modo de contração nas mudanças da arquitetura do quadríceps, Reeves et al. (2009) aplicaram treinamento excêntrico ou convencional em idosos por 14 semanas. Os autores observaram que houve um maior aumento no comprimento do fascículo no grupo que treinou excêntrico e um aumento no ângulo de penação somente no grupo que realizou o treino convencional. Adicionalmente, os dois grupos aumentaram similarmente a área de secção transversa do vasto lateral. Os autores sugeriram que as maiores cargas com o treinamento excêntrico podem ter induzido a um maior alongamento nas fibras musculares, servindo como um estímulo mais potente para a adição dos sarcômeros em série, o que leva a um aumento no comprimento do fascículo (REEVES et al., 2009). Por sua vez, o aumento no ângulo de penação é consistente com o aumento de sarcômeros em paralelo. Visto que a carga absoluta foi similar, os autores

sugeriram que ao invés do *stress* mecânico, como o que ocorre no treinamento excêntrico, alguma forma de *stress* metabólico seja responsável pela adição de sarcômeros em paralelo, levando a um maior ângulo de penação. Através de um maior ângulo de penação, um maior número de fibras em paralelo pode ser colocado num mesmo volume. Assim, para um mesmo volume muscular, um músculo com maior ângulo de penação terá uma maior área de secção transversa e uma maior capacidade de geração de força (FUKUNAGA et al., 2001).

2.4.3 Adaptações metabólicas

Por fim, o treinamento de força também pode ser responsável por adaptações metabólicas. Estas adaptações contribuem para uma maior capacidade de realizar exercícios de curta duração e alta intensidade (PIZZA et al., 1996). Tanaka et al. (1998) afirmam que uma melhora na potência anaeróbia adquirida através do treinamento de força pode ajudar corredores nas subidas ou no *sprint* final, o que aumentaria o desempenho na corrida.

Devido ao MAOD (do inglês *maximal accumulated oxygen deficit*) ser capaz de representar a capacidade anaeróbia, Pizza et al. (1996) utilizaram esse teste e observaram que homens treinados em força possuíam um maior MAOD quando comparados a homens treinados em endurance. A partir da correlação positiva encontrada entre o MAOD e a massa muscular do grupo treinado em força, os autores concluíram que o maior MAOD foi influenciado pela maior massa muscular dos membros inferiores deste grupo. Nesse sentido, sugeriu-se que a capacidade de ressintetizar moléculas de ATP anaerobiamente poderia ser elevada pela hipertrofia muscular induzida pelo treinamento de força.

Por sua vez, Mikkola et al. (2007) e Paavolainen et al. (1999b) encontraram um aumento na velocidade do teste chamado MART (do inglês *maximal anaerobic running test*) após oito semanas de treinamento concorrente (endurance e força explosiva) em atletas de endurance. Similarmente, Mikkola et al. (2011) também observaram melhora na velocidade do MART em corredores de endurance após oito semanas de treinamento de força máxima, demonstrando a eficácia destes dois tipos de treinamento na melhora deste parâmetro. Esses achados indicam que o treinamento de força é capaz de elevar a capacidade do músculo esquelético em ressintetizar ATP anaerobiamente.

Outra evidência acerca da influência do treinamento de força em parâmetros anaeróbios pode ser vista no estudo de Sawyer et al. (2014). Estes autores aplicaram oito semanas de treinamento de força em homens saudáveis e estimaram a capacidade de trabalho anaeróbia utilizando o modelo de potência crítica. Foi observado que o treinamento de força melhorou a capacidade anaeróbia pelos dois modelos e que essa melhora estava

correlacionada com aumentos no tempo até a exaustão durante o exercício exaustivo. Assim, os autores sugeriram que a capacidade anaeróbia pode ser aumentada pelo treino de força.

Em conclusão, as adaptações advindas do treinamento de força incluem desde mudanças na ativação e no recrutamento muscular até o aumento na área de secção transversa do músculo. Este conjunto de adaptações também é capaz de influenciar variáveis importantes para o treinamento de endurance, demonstrando a capacidade do treinamento de força de modificar parâmetros em diversos âmbitos, seja neural, estrutural ou metabólico. Possivelmente, esses ajustes promovidos pelo treinamento de força são fundamentais para os esportes de longa duração, especialmente nas fases iniciais e finais de uma prova quando os atletas atingem as maiores velocidades.

2.5 Treinamento de força aplicado aos esportes de longa duração: Adaptações neurais, estruturais, metabólicas e suas transferências para o desempenho físico

Historicamente, o treinamento realizado por atletas de endurance leva em consideração o princípio da especificidade. Dessa forma, as características que compõem o treinamento do atleta são similares ao tipo de prova realizada. Portanto, atletas de provas de longa duração geralmente treinam por longos períodos de tempo em menor intensidade, ou ainda realizam treinos mais intensos, porém com um volume menor. Um aspecto marcante em provas de longa duração é a predominância do metabolismo aeróbio na transferência metabólica de energia (LAURSEN, 2010). Assim, é bem documentado na literatura científica que o treinamento específico para estes atletas tem a capacidade de melhorar parâmetros determinantes da aptidão aeróbia, como por exemplo, $\dot{V}O_2\text{máx}$, limiares metabólicos e economia de corrida (HICKSON et al., 1981; RAMSBOTTOM et al., 1989).

Todavia, diversas evidências sugerem que fatores relacionados à produção de força e à potência muscular também têm considerável importância para os atletas engajados nesses esportes (PAAVOLAINEN et al., 1999a; NUMMELA et al., 2006). Inclusive, tem-se proposto que alguns fatores neuromusculares podem ser mais relevantes que o $\dot{V}O_2\text{máx}$, especialmente quando os atletas possuem o mesmo nível de desempenho físico (NOAKES, 1988). Adicionalmente, mediante as adaptações neurais e estruturais proporcionadas pelo treinamento de força, estudos prévios demonstraram que variáveis determinantes da aptidão aeróbia podem ser modificadas por esse tipo de intervenção (PAAVOLAINEN et al., 1999b). A Tabela 1 apresenta uma síntese dos achados de diversos estudos que investigaram o impacto do treinamento de força sobre parâmetros fisiológicos e neuromusculares determinantes do desempenho em provas de longa duração.

Tabela 1 – Impacto do treinamento de força sobre parâmetros fisiológicos e neuromusculares determinantes do desempenho em provas de longa duração.

Estudo	Participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Número de séries	Intensidade	Parâmetros neuromusculares	Parâmetros fisiológicos	Resposta no Desempenho
Sedano et al. (2013)	Corredores treinados	12	2x	4	3	70% 1RM	↑ 1 RM ↑ SCM	↑ EM ↔ $\dot{V}O_{2\text{máx}}$	↑ VP ↓ Tempo 3 km
Piacentini et al. (2013)	Corredores treinados	6	2x	5	4	85-90% 1RM	↑ 1 RM ↔ SCM	↑ EM	---
Bertuzzi et al. (2013)	Corredores treinados	6	2x	1	3 – 6	>70% 1RM	↑ 1 RM	↔ $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ↔ T_{lim} ↑ W_{ae}	---
Barrett et al. (2012)	Ciclistas treinados	8	3x	1	4	85-90% 1RM	↑ 1 RM ↑ TDF	↔ $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ↑ EM	---
Taipale et al. (2013)	Corredores treinados	8	1 – 2x	3	3	80-85% 1RM	↑ 1 RM ↑ EMG VL	↔ $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ↔ EM	↑ VP
Mikkola et al. (2011)	Corredores treinados	8	2x	2	3	4 – 6 RM	↑ 1 RM ↑ EMG VL ↑ SCM	↔ EM ↑ vMART ↓ [La] 12km.h ⁻¹	↑ VP

Aagard et al. (2011)	Ciclistas treinados	16	2-3x	4	4	5 – 10 RM	↑ CVM ↑ TDF	↔ $\dot{V}O_{2max}$ ↔ EM	↑PM em 45' de ciclismo
Sunde et al. (2010)	Ciclistas treinados	8	3x	1	4	4 RM	↑ 1 RM ↑ TDF	↑ EM	↑Tlim
Ronnestad et al. (2010)	Ciclistas treinados	12	2x	4	3	4 – 10 RM	↑ 1 RM ↑ PP Wingate	---	↑PM 40' de ciclismo
Guglielmo et al. (2008)	Corredores treinados	4	2x	6	3 – 4	6 RM	↑ 1 RM	↑ EM ↑ vOBLA	---
Storen et al. (2008)	Corredores treinados	8	3x	1	4	4 RM	↑ 1 RM ↑ TDF	↑ EM	↑ Tlim
Kelly et al. (2008)	Corredoras treinadas	10	3x	4	3	>85% 1 RM	↑ 1 RM	↔ $\dot{V}O_{2pico}$ ↔ EM	↔ Tempo 3 km
Loveless et al. (2005)	Homens destreinados	8	3x	1	4	85% 1 RM	↑ 1 RM	↑ EM	---

Hoff et al. (2002)	Esquiadores treinados	8	3x	1	3	85% 1 RM	↑ 1 RM ↑ TDF	↑ EM	↑ Tlim
Millet et al. (2002)	Triatletas treinados	14	2x	6	3 – 5	>90% 1 RM	↑ 1 RM	↑ EM ↑ $\dot{V}O_{2\text{máx}}$	---
Bishop et al. (1999)	Ciclistas treinadas	12	2x	1	3 – 5	2 – 8 RM	↑ 1 RM	↔ $VO_{2\text{máx}}$ ↔ LL	↔ PP em 60' de ciclismo
Hickson et al. (1988)	Homens/ mulheres treinados	10	3x	4	3	80% 1 RM	↑ 1 RM	↔ $VO_{2\text{máx}}$	↑ Tlim
Hickson et al. (1980)	Homens destreinados	10	5x	5	3	80% 1 RM	↑ 1 RM	↔ $VO_{2\text{máx}}$	↑ Tlim

1 RM: uma repetição máxima; $\dot{V}O_{2\text{máx}}$: consumo máximo de oxigênio; Tlim: tempo limite na intensidade correspondente ao $\dot{V}O_{2\text{máx}}$; LL: limiar de lactato; PP: potência de pico; EM: economia de movimento; $v\dot{V}O_{2\text{máx}}$: velocidade associada ao $\dot{V}O_{2\text{máx}}$; TDF: taxa de desenvolvimento de força; $vOBLA$: velocidade associada ao início de acúmulo de lactato no sangue; PM: potência média; CVM: contração voluntária máxima; EMG VL: atividade eletromiográfica do vasto lateral; SCM: salto com contramovimento; VP: velocidade de pico; W_{AE} : Contribuição aeróbia. ↑ Aumento; ↓ Diminuição; ↔ Manutenção.

Parte dos achados dos estudos presentes na Tabela 1 indica que os protocolos de treinamento investigados resultaram em modificações em variáveis neuromusculares, as quais têm se mostrado importantes no que concerne à melhora no desempenho nas provas de endurance (HICKSON et al., 1980; STOREN et al., 2008; GUGLIELMO et al., 2009). Trabalhos que realizaram intervenções com o treinamento de força vêm tentando elucidar os mecanismos responsáveis por esta melhora desde a década de 80 do século passado (HICKSON et al., 1980). O que tem sido frequentemente encontrado são adaptações neuromusculares envolvendo aumento na força e na ativação muscular, bem como aumentos na taxa de desenvolvimento de força e na altura de salto (PAAVOLAINEN et al., 1999b; MIKKOLA et al., 2007; TAIPALE et al., 2012). Dessa forma, os próximos tópicos dessa revisão de literatura apresentam a influência do treinamento de força sobre variáveis determinantes do desempenho aeróbio e os mecanismos responsáveis por possíveis adaptações.

2.5.1 Consumo máximo de oxigênio

O consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_2\text{máx}$) é a medida que representa a potência aeróbia máxima e que reflete a maior taxa pela qual o oxigênio pode ser captado, transportado e utilizado durante um exercício severo (BASSET; HOWLEY, 2000). Como descrito anteriormente, o $\dot{V}O_2\text{máx}$ faz parte dos principais componentes da aptidão aeróbia (MCLAUGHLIN et al., 2010), sendo uma importante variável preditora do desempenho quando o grupo em questão é heterogêneo em termos de rendimento físico (STRATTON et al., 2009). Portanto, altos valores nesta variável são comuns entre atletas de elite de diversas modalidades esportivas, tais como as corridas de longa distância (BILLAT et al., 2001), ski cross country (HOFF et al., 2002) e remo (BISHOP et al., 2002).

Está bem documentado que o treinamento aeróbio é capaz de melhorar o $\dot{V}O_2\text{máx}$ (HICKSON et al., 1981; ENOKSEN et al., 2011). Por outro lado, tem-se observado que a adição de treinamentos de força máxima ou explosiva, na maioria das vezes não modifica o $\dot{V}O_2\text{máx}$, principalmente quando a amostra estudada já possui um alto valor dessa variável (BISHOP et al., 1999; HOFF et al., 2002). De fato, em um dos primeiros estudos descrevendo os efeitos do treinamento de força máxima sobre o desempenho de endurance, Hickson et al. (1988) não observaram mudanças no $\dot{V}O_2\text{máx}$ após 10 semanas de treinamento de força em um grupo de indivíduos treinados ($\dot{V}O_2\text{máx} = 60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Vários trabalhos posteriores encontraram resultados semelhantes aos descritos por Hickson et al. (1988) (BISHOP et al., 1999; MIKKOLA et al., 2011; AAGAARD et al., 2011). Por exemplo, após 12 semanas de treinamento de força, Bishop et al. (1999) não observaram mudanças no $\dot{V}O_2\text{máx}$ de ciclistas treinados, mesmo com um aumento de 35% na força dinâmica máxima. Recentemente, Mikkola et al. (2011) também não encontraram mudanças no $\dot{V}O_2\text{máx}$ de corredores treinados após 8 semanas de intervenção, sendo as adaptações neurais as principais responsáveis pela melhora nas outras variáveis analisadas, como por exemplo, a velocidade em um teste anaeróbio máximo e a altura do salto com contramovimento.

Por outro lado, estudos que aplicaram um período de treinamento de força com menores intensidades e utilizaram indivíduos destreinados, observaram mudanças no $\dot{V}O_2\text{máx}$ (GETTMAN et al., 1978; GETTMAN et al., 1982). Gettman et al. (1982) verificaram um aumento de 12% nessa variável após 12 semanas de treinamento de força em um grupo de indivíduos destreinados ($\dot{V}O_2\text{máx} = <40 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Neste estudo, o protocolo adotado foi composto por intensidades de apenas 50% da força máxima medida no teste de 1RM, estando bem abaixo da intensidade usada nos estudos que não observaram diferenças para o $\dot{V}O_2\text{máx}$ (MIKKOLA et al., 2011).

A explicação para os valores similares de $\dot{V}O_2\text{máx}$ pré e pós-treinamento de força observados nos estudos anteriores é frequentemente descrita pelo fato deste tipo de treinamento requerer um percentual de aproximadamente 50% do $\dot{V}O_2\text{máx}$ (HURLEY et al., 1984). Esse estímulo é substancialmente inferior ao dos treinamentos predominantemente aeróbios tradicionais que são realizados em intensidades que requerem um percentual de 70-85% do $\dot{V}O_2\text{máx}$ (TANAKA et al., 1986; BILLAT et al., 2004). Portanto, as diferenças encontradas nos valores desta variável podem ser atribuídas às divergências nos protocolos de treinamento, às diferenças na intensidade aplicada e às características da amostra.

Assim, parece plausível sugerir que a adição de um período de treinamento de força não tem efeitos sobre o $\dot{V}O_2\text{máx}$ quando se utiliza cargas máximas ou próximas da máxima, bem como quando o grupo analisado possui um grande histórico de treinamento aeróbio e altos valores desta variável, o que dificultaria a sua melhora através do treinamento de força aplicado.

2.5.2 Economia de corrida

A economia de corrida (EC) é definida como o gasto energético para uma dada velocidade submáxima de corrida (FRANCH et al., 1998; SPURRS et al., 2003), podendo ser expressa como o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em uma determinada intensidade. Do ponto de vista prático, os corredores energeticamente mais econômicos apresentam um menor custo de oxigênio em velocidades submáximas e, conseqüentemente, tendem a correr mais rápido determinadas distâncias ou correrem maiores distâncias em uma velocidade constante (GUGLIELMO et al., 2009).

Tem-se observado que a EC é uma das principais variáveis que determinam o sucesso em corridas de longas distâncias em atletas altamente treinados que possuem valores similares de $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (MORGAN et al., 1989). Por exemplo, Conley e Krahenbuhl (1980) demonstraram que 65,4% da variação observada no desempenho de atletas de 10 km com valores similares de $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ foi explicada pela variação na EC. Inclusive, tem-se proposto que a EC pode explicar porque corredores africanos possuem desempenhos superiores aos corredores caucasianos, quando estes dois grupos de atletas apresentam valores similares de $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. A Tabela 2 apresenta os valores de EC de atletas de diferentes países/continentes. Por exemplo, Weston et al. (2000) demonstraram que em um teste de seis minutos na velocidade de 16,1 km.h⁻¹, os corredores africanos foram 5% mais econômicos que os caucasianos. Além disso, quando os dois grupos correram durante seis minutos nas suas respectivas velocidades médias dos 10 km, os primeiros conseguiram se exercitar utilizando um maior percentual do seu $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (92,2% vs 86,0%), mas com um similar acúmulo de lactato quando comparados aos segundos sujeitos.

Tabela 2 – Variáveis morfológicas e fisiológicas de corredores de elite de diferentes países/continentes.

Origem	Estatura (cm)	Peso corporal (kg)	Economia de corrida (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
Cáucaso ¹	178,3 ± 5,3	64,9 ± 5,3	49,9 ± 2,4 a 16,0 km·h ⁻¹
Espanha ²	172,0 ± 6,0	60,5 ± 7,8	59,7 ± 3,1 a 17,0 km·h ⁻¹
África (geral) ¹	172,4 ± 5,3	61,4 ± 7,0	47,4 ± 3,2 a 16,0 km·h ⁻¹
África do Sul ³	172,0 ± 6,0	59,6 ± 7,4	55,5 ± 3,8 a 16,1 km·h ⁻¹
Eritreia ²	174,0 ± 8,0	57,2 ± 3,3	52,5 ± 6,4 a 17,0 km·h ⁻¹
Eritreia ⁴ (Tadesse Zersenay*)	163,0	54	52,9 a 17,0 km·h ⁻¹

Estudos: ¹ = Weston et al. (2000); ² = Lucia et al. (2006); ³ = Kohn et al. (2007). ⁴ = Lucia et al. (2008); * Ex-recordista mundial e vencedor da meia-maratona do Rio de Janeiro de 2008.

As diferenças encontradas na EC podem ser atribuídas a uma grande variedade de fatores (SAUNDERS et al., 2004), os quais podem ser influenciados pelo treinamento de força (MILLET et al. 2002, STOREN et al., 2008, GUGLIELMO et al., 2009). Por exemplo, Guglielmo et al. (2009) aplicaram um treinamento de força máxima de quatro semanas em corredores treinados e observaram que após este período houve uma melhora de 6,2% na EC. Apesar de não ter sido determinada, a conversão entre os tipos de fibras (de IIb para IIa) foi um dos fatores apontados pelos autores na melhora na EC, já que um aumento no percentual de fibras IIa pode levar a um aumento na capacidade oxidativa dos músculos treinados. Adicionalmente, também foi sugerido que a melhora na EC ocorreu devido a uma modificação nos fatores neurais, tais como aumento da ativação neural e recrutamento mais eficiente de unidades motoras. De forma similar, Millet et al. (2002) também observaram uma melhora significativa na EC após 14 semanas de treinamento de força máxima, atribuindo esta melhora a uma diminuição na carga relativa de trabalho, já que com o aumento na força máxima seria necessário um menor percentual desta força para um mesmo nível de tensão muscular.

Modificações na EC também foram detectadas no estudo de Storen et al. (2008) após 8 semanas de treinamento de força. Neste trabalho, os autores demonstraram que os corredores bem treinados tiveram ganhos de 5% e 33,2% na EC e no teste de 1RM, respectivamente. Segundo esses autores, o aumento da força no teste de 1RM se deve principalmente às adaptações neurais e às mudanças no padrão de recrutamento em resposta ao treinamento. Embora os mecanismos responsáveis pela melhora na EC não tenham sido apropriadamente

investigados neste estudo, diversos autores afirmam que uma melhora nas características neuromusculares, na eficiência mecânica e na coordenação muscular (SALE, 1988; PAAVOLAINEN et al., 1999b; HOFF et al., 1999) estão entre as principais adaptações advindas do treinamento de força relacionadas com a melhora na EC. Adicionalmente, um aumento na força de 1RM permite que os músculos gerem mais força sem um aumento proporcional na demanda energética, visto que as fibras musculares serão capazes de realizar contrações com um menor percentual da força máxima, tornando uma carga submáxima relativamente menor (HOFF et al., 2002).

Além dos mecanismos supracitados, as modificações na EC após a realização de um período de treinamento de força podem ser causadas a partir de mudanças no *stiffness* musculotendíneo (SMT). Achados prévios indicaram uma correlação negativa entre EC e flexibilidade (JONES, 2002; TREHEARN; BURESH, 2009), sugerindo que corredores com um maior SMT podem possuir uma melhor EC. Acredita-se que um maior SMT é capaz de elevar o armazenamento e a restituição da energia elástica acumulada pelas estruturas passivas do músculo esquelético, reduzindo assim o gasto energético na corrida (PAAVOLAINEN et al., 1999b; KUBO et al., 2001). De fato, Paavolainen et al. (1999b) verificaram que após um período de 9 semanas de treinamento de força explosiva, as melhoras encontradas no grupo de corredores que treinou simultaneamente força explosiva e endurance foram significativas para EC, desempenho nos 5 km e velocidade máxima no teste de corrida anaeróbio máximo quando comparadas ao grupo controle. De acordo com Paavolainen et al. (1999b), o treinamento de força explosiva foi capaz de melhorar as características neuromusculares, incluindo regulação do SMT, que foram transferidas para a EC.

Diferentemente dos estudos anteriormente citados, alguns autores não verificaram modificações na EC após um período de treinamento de força (KELLY et al., 2008; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011). No estudo de Kelly et al. (2008), conduzido com corredoras recreacionais, um programa de treinamento de força máxima com duração de dez semanas foi adicionado a um treinamento de endurance. Apesar de um significativo aumento na força medida pelo teste de 1RM (17,9%) para o grupo que realizou o treinamento combinado (força e endurance), os autores não detectaram mudanças na EC ao final deste período de treinamento. Da mesma forma, Taipale et al. (2010) e Mikkola et al. (2011) não encontraram mudanças na EC após 8 semanas de treinamento de força máxima em corredores recreacionais, mesmo com mudanças significativas nas características neuromusculares (aumento de força máxima e EMG). Mikkola et al. (2011) sugeriram que a magnitude de

diferenças detectadas na força muscular pode ser responsável por essa falta de consistência nos achados, haja vista que Storen et al. (2008) encontraram aumento de 33% no teste de 1RM, ao passo que Mikkola et al. (2011) só encontraram 3,6% de aumento nesse mesmo teste.

Em resumo, embora seja bem estabelecido que a EC possa ser influenciada por uma grande quantidade de fatores, parece claro que após um período de treinamento de força são modificações nas características neuromusculares que desempenham um papel fundamental na melhora desta variável.

2.5.3 Velocidade no $\dot{V}O_2$ máx ($v\dot{V}O_2$ máx) e tempo até a exaustão na $v\dot{V}O_2$ máx (Tlim)

A velocidade associada ao $\dot{V}O_2$ máx ($v\dot{V}O_2$ máx) pode ser definida como a velocidade mínima em que se atinge o $\dot{V}O_2$ máx em um protocolo com incremento da intensidade até a exaustão voluntária (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996), enquanto o tempo até a exaustão na $v\dot{V}O_2$ máx, denominado como tempo limite (Tlim), representa o tempo em que o indivíduo consegue manter se exercitando nesta velocidade (SAMOGIN LOPES et al., 2010).

Acredita-se que o Tlim está relacionado com a contribuição do metabolismo anaeróbio durante exercícios aeróbios de alta intensidade (FAINA et al., 1997). De fato, Renoux et al. (1999) encontraram uma correlação significativa e positiva entre Tlim e déficit de oxigênio expresso em ml de $O_2.kg^{-1}$, e entre Tlim a 100% e a 120% da velocidade aeróbia máxima. Estas correlações demonstram, respectivamente, que o déficit de O_2 aumentou com o aumento do Tlim, e que a capacidade anaeróbia desempenha um papel fundamental na capacidade de sustentar a corrida na velocidade aeróbia máxima. Adicionalmente, em um estudo conduzido pelo nosso grupo de pesquisa, foi observado que a capacidade de gerar força rapidamente com os membros inferiores é um parâmetro importante para o Tlim de corredores fundistas recreacionais (BERTUZZI et al., 2012).

Diversos estudos têm demonstrado que o Tlim e suas intensidades relativas, bem como a $v\dot{V}O_2$ máx, são parâmetros frequentemente utilizados para prescrição de treinamentos de alta intensidade (BILLAT et al., 1999; BILLAT, 2001; LAURSEN; JENKINS, 2002). Billat et al. (1994) demonstraram que o Tlim estava altamente relacionado ao desempenho de corredores em provas de longa distância (21 km), enquanto Morgan et al. (1989) observaram que a $v\dot{V}O_2$ máx estava mais associada com as variações no tempo em uma corrida de 10 km do que o $\dot{V}O_2$ máx e a economia de corrida, deixando clara a importância destes parâmetros para o sucesso em corridas de endurance.

Vários autores sugerem que os mecanismos responsáveis pela melhora na $v\dot{V}O_2\text{máx}$ e no T_{lim} dizem respeito a modificações nas características neuromusculares, já que um aumento na força muscular e uma maior atividade eletromiográfica (EMG) acompanham a melhora nestas variáveis (TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011). Além disso, o que tem sido observado é que após um período de treinamento de força, a $v\dot{V}O_2\text{máx}$ e o T_{lim} estão entre as variáveis que mais respondem pela melhora no desempenho de endurance (HOFF et al., 2002; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011).

Fazendo o uso de dois tipos de treinamento de força, Taipale et al. (2010) demonstraram que a combinação do treinamento de endurance com o treinamento de força máxima ou explosiva, resultou em aumentos na força de 1RM, na EMG e na $v\dot{V}O_2\text{máx}$ para os dois grupos, sem um aumento significativo do $\dot{V}O_2\text{máx}$ para nenhum dos grupos de corredores recreacionais. Ao considerar esses achados, é provável que as melhoras encontradas na força e na EMG tenham contribuído para uma melhora na $v\dot{V}O_2\text{máx}$, já que o aumento do $\dot{V}O_2\text{máx}$ não foi significativo. Em outras palavras, é possível afirmar que uma melhora na função neuromuscular induzida pelo treinamento de força, aumentando a ativação e a coordenação muscular, tenha levado a uma maior eficiência dos músculos, melhorando a $v\dot{V}O_2\text{máx}$. Considerando que em corridas de meia e longa distância a prova é realizada em um alto percentual do $\dot{V}O_2\text{máx}$ (BASSET; HOWLEY, 2000; JAMES et al., 2007), uma melhora no tempo em que o atleta consegue se manter nesta velocidade é de extrema importância para o desempenho total na prova.

Adicionalmente, Storen et al. (2008) observaram que após oito semanas de treinamento de força houve um aumento na força máxima e no T_{lim} , sem mudanças significativas no $\dot{V}O_2\text{máx}$, sugerindo que o treinamento de força pode modificar o T_{lim} por aumentar o SMT, diminuindo o custo metabólico através de um ciclo alongamento-encurtamento mais eficiente. Da mesma forma, Paavolainen et al. (1999a) também sugeriram que através de um uso mais efetivo de energia elástica e de um aumento na produção de força, fatores neuromusculares poderiam exercer um importante papel no desempenho de corredores de 10 km, visto que foi observado que corredores mais experientes possuíam uma maior pré-ativação e EMG relativa e um menor tempo de contato quando comparados a corredores menos experientes.

Em síntese, parece que a adição de um período de treinamento de força é capaz de melhorar a $v\dot{V}O_2\text{máx}$ e o T_{lim} sem modificações no $\dot{V}O_2\text{máx}$, enfatizando a importância das características neuromusculares relacionadas à ativação neural reflexa e voluntária, força e

elasticidade muscular, bem como o papel das características anaeróbias em atletas de endurance (HÄKKINEN et al., 1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Participantes

Vinte corredores recreacionais do sexo masculino participaram voluntariamente desse estudo. Eles foram divididos em grupo controle (GC, $n = 10$) e grupo treinamento (GT, $n = 10$) de forma contrabalançada com base no desempenho nos 10 km. Os atletas eram incluídos no estudo se fossem capazes de percorrer a distância de 10 km com um tempo entre 35-45 minutos, possuir experiência em treinamento de corrida superior a dois anos e treinar pelo menos três vezes por semana com o volume semanal mínimo acima de 30 km. O volume de treinamento dos participantes foi expresso como a distância total média percorrida semanalmente, avaliado através de um registro de treinamento das três semanas anteriores ao início do estudo e das últimas três semanas antes do término do estudo. Adicionalmente, eles não poderiam ter participado de qualquer tipo de TF ou fazerem uso de substâncias ergogênicas nos últimos seis meses. Todos os voluntários assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, contendo a descrição de todos os riscos e benefícios dos procedimentos experimentais (ANEXO II). Os procedimentos adotados nesse estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética e Pesquisa da EEFÉ-USP (processo nº 2011/38).

3.2 Desenho experimental

A duração total do estudo foi de catorze semanas, sendo as três primeiras e as três últimas semanas destinadas aos testes pré e pós-treinamento, respectivamente. Após receberem as orientações acerca dos procedimentos adotados no estudo, os participantes foram conduzidos a familiarização dos testes. Além de manterem as suas respectivas rotinas de treinamento de corrida, os participantes foram submetidos ao TF por oito semanas com duas sessões semanais. Antes e após a fase de intervenção com o programa de TF, eles foram submetidos às seguintes medidas: *a*) antropometria (massa corporal total, estatura, percentual de gordura), *b*) teste de wingate, *c*) teste com velocidade submáxima para a determinação da economia de corrida; *d*) teste progressivo até a exaustão voluntária para determinação do $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, *e*) simulação de uma prova de 10 km para análise da estratégia de prova, *f*) teste de drop jump e teste de uma repetição máxima (1RM) e *g*) teste de tempo limite. Após as familiarizações, as sessões *a*, *b*, *c*, *d*, *e* e *f* foram aleatórias. Com exceção da prova de 10 km,

todos os testes foram realizados com a temperatura ambiente semelhante (20-24°) e duas horas após a última refeição. O intervalo mínimo de 48 horas foi mantido entre as sessões experimentais. Abaixo segue um *time-line* do desenho experimental.

Figura 2. *Time line* do desenho experimental. Sessão 1 – antropometria (Ant) e familiarização 1 no meio agachamento e no drop jump (F1). Sessão 2 – familiarização 2 no meio agachamento e no drop jump (F2) e teste de wingate (W). Sessão 3 – teste de economia de corrida (EC). Sessão 4 – teste progressivo até a exaustão (TPE). Sessão 5 – 10 km em pista (10 km). Sessão 6 – drop jump (DJ) e 1RM no meio agachamento (1RM). Sessão 7 – Teste de tempo limite (Tlim). TF – treinamento de força.

3.3 Antropometria

Todas as medidas antropométricas foram realizadas por um único avaliador experiente, de acordo com os procedimentos sugeridos por Norton e Olds (1996). A massa corporal total foi medida com uma balança eletrônica com precisão de 0,1 kg (Filizola, modelo ID 1500, São Paulo, Brasil) e a estatura foi mensurada com um estadiômetro com precisão de 0,1 cm. As dobras cutâneas foram medidas em oito pontos anatômicos (tríceps braquial, suprailíaca, abdominal, peitoral, subescapular, axilar média, coxa e perna) usando um compasso da marca Harpenden (West Sussex, UK). A mediana dos valores dessas medidas, as quais foram realizadas em triplicata e ao lado direito do corpo, foi empregada na estimativa da composição corporal. A densidade corporal foi estimada pela equação generalizada de Jackson e Pollock (1985) e o percentual de gordura estabelecido pela equação de Brozek et al. (1963).

3.4 Teste progressivo até a exaustão voluntária

O teste progressivo até a exaustão foi realizado em uma esteira rolante (Inbrasport, Porto Alegre, Brazil). Após um aquecimento de cinco minutos na velocidade de 8 km.h⁻¹, o teste foi iniciado com a velocidade da esteira em 10 km.h⁻¹ sendo aumentada em 1 km.h⁻¹ a cada três minutos até a exaustão voluntária do participante, que recebeu encorajamento verbal para continuar o teste durante o maior tempo possível. Cada estágio foi separado por um período de 30 s de repouso durante o qual uma amostra de sangue (25 µl) foi obtida do lóbulo da orelha direita para análise da concentração sanguínea de lactato, realizada por

espectrofotometria (EONC, Biotek Instruments, USA). Amostras de sangue também foram coletadas antes do início do teste e no primeiro, terceiro, quinto e sétimo minutos de recuperação para a determinação da concentração de lactato sanguíneo de pico. O consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) foi medido respiração a respiração através de um analisador de gases (Cortex Metalyzer 3B, Cortex Biophysik, Leipzig, Germany) e subsequentemente convertido em médias de 30 s. Antes de cada teste, o analisador de gases foi calibrado de acordo com as especificações do fabricante. Brevemente, foi utilizado o ar ambiente e um gás de composição conhecida contendo 12% O_2 e 5% CO_2 . A turbina foi calibrada usando uma seringa de 3L (Quinton Instruments, Seattle, WA, USA). A frequência cardíaca (FC) foi mensurada continuamente utilizando um cardiofrequencímetro (Polar s810i, Kempele, Finlândia) e foi definida como o maior valor obtido ao final do teste. O limiar ventilatório (LV) e o ponto de compensação respiratória (PCR) foram determinados de maneira independente por três pesquisadores experientes como: o ponto de perda de linearidade da relação $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ (LV) e o ponto de perda de linearidade da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ associado ao primeiro aumento na fração de CO_2 expirada (PCR) (MEYER et al., 2005). O $\dot{V}O_{2max}$ foi determinado quando pelo menos dois dos seguintes critérios fossem reunidos: 1) um aumento do $\dot{V}O_2$ menor que $2,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ entre os dois últimos estágios, 2) a razão de trocas respiratórias $\geq 1,10$, 3) atingir 90% da frequência cardíaca máxima predita pela idade ($220 - \text{idade}$), 4) atingir a concentração de lactato sanguíneo de pico $\geq 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (HOWLEY et al. 1995). A $v\dot{V}O_{2max}$ foi estabelecida como a mínima velocidade em que o $\dot{V}O_{2max}$ fosse alcançado. A maior velocidade alcançada durante o teste foi registrada como a velocidade de pico na esteira (VPE). Quando os voluntários não eram capazes de completar o último estágio, a VPE foi calculada através da seguinte equação (KUIPERS et al., 2003):

$$VPE = UEC + (TUEI/180 \cdot 1)$$

sendo UEC a velocidade no último estágio completo realizado pelo voluntário, e TUEI o tempo em segundos que o voluntário permaneceu no último estágio incompleto.

3.5 Teste de economia de corrida

Os procedimentos realizados no teste de velocidade constante referentes à mensuração do $\dot{V}O_2$ foram similares aos adotados no teste progressivo até a exaustão. Após um aquecimento de cinco minutos na velocidade de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, os participantes descansaram por 3

minutos e então realizaram um período de 6 minutos na velocidade de $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. A economia de corrida (EC) foi definida como a média do $\dot{V}\text{O}_2$ durante os últimos 30 segundos nesta velocidade.

3.6 Teste de 1RM

A força dinâmica máxima no exercício de meio agachamento foi medida através do teste de 1RM no aparelho Smith (barra guiada) (Hammer Strength, Life Fitness, Illinois, EUA), de acordo com procedimentos padrões (BROWN; WEIR 2001). Antecedendo o teste de 1RM, os participantes foram submetidos a duas sessões de familiarização. Após o aquecimento geral de cinco minutos correndo na esteira com a velocidade de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, os voluntários realizaram um aquecimento específico que consistiu em duas séries, uma com cinco e outra com três repetições, nas intensidades de 50% e 70% da carga estimada para o 1RM, respectivamente. Foi utilizado o intervalo de três minutos entre as séries e entre a última série do aquecimento e a primeira tentativa do teste de 1RM. Os participantes iniciaram o teste em pé e com a barra apoiada sobre os ombros. Em seguida, eles flexionaram os membros inferiores até que a parte posterior das coxas estivesse paralela ao solo e, em seguida, retornaram a posição inicial. Foram permitidas, no máximo, cinco tentativas para a determinação da carga individual do 1RM, as quais foram separadas por 3 minutos de recuperação passiva. Caso a carga de 1RM não fosse encontrada após estas cinco tentativas, o sujeito realizaria uma sessão extra 24h após o primeiro teste.

3.7 Simulação da prova de 10 km

Os participantes realizaram uma simulação de prova de 10 km em uma pista de 400 m e foram instruídos a terminar o mais rápido possível, simulando um evento competitivo. Antes da prova, eles aqueceram durante 10 minutos em intensidade leve (velocidade entre 8 e $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) e foram instruídos a manter o consumo regular de água nas seis horas anteriores ao teste. Durante a corrida, a água foi disponibilizada *ad libitum*. A distância foi informada a cada quilômetro percorrido, mas nenhum *feedback* foi dado a respeito do tempo de prova. A velocidade foi registrada a cada 100 m via GPS (Forerunner® 405, Garmin, Kansas, Oregon, EUA) e a média de velocidade a cada parcial de 400 m foi calculada. A estratégia de prova foi determinada pela curva da velocidade vs distância. A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi relatada pelos participantes a cada 1000 m usando a escala de Borg 6 a 20 (BORG, 1982). Os valores da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar foram fornecidos pelo Instituto

de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo e apresentaram valores $22,8 \pm 3,8^{\circ}\text{C}$ e $61 \pm 8,2\%$, respectivamente.

3.8 Teste de Wingate

Para a aplicação do teste de Wingate foram seguidas as recomendações descritas por Bar-Or (1987). Brevemente, antes da execução desse teste, os participantes realizaram um aquecimento de 5 minutos com a resistência inercial do equipamento tendo a inclusão de dois tiros, cada um de 4 s, realizados no segundo e quarto minutos. Após 10 minutos de repouso, os participantes foram verbalmente encorajados a pedalar na maior velocidade possível durante 30 s contra a resistência de $0,075 \text{ kp.kg}^{-1}$ da massa corporal. A potência externa foi calculada a cada 1 s por meio de um software (Wingate test, Cefise, Brasil). A maior potência externa gerada no início do teste foi utilizada para representar a potência de pico (PP), enquanto a média aritmética da potência gerada durante os 30 s foi utilizada para representar a potência média (PM).

3.9 Drop jump

A altura de salto e o tempo de contato foram mensurados através do drop jump realizado em um tapete de contato (MultiSprint, Hidrofit, Brasil). Os participantes foram instruídos a sair de uma altura de 40 cm e, após tocar no solo, tentar alcançar a maior altura vertical possível com um curto tempo de contato (próximo a 200 ms) (YOUNG; BEHM, 2003). Uma demonstração foi realizada pelos pesquisadores para que os participantes minimizassem a flexão e a extensão dos joelhos durante o salto. Todos os saltos foram realizados com as mãos nos quadris, e cinco repetições foram realizadas com um intervalo de 30 segundos entre elas. O maior e o menor valor foram descartados e a média dos três valores restantes foi calculada e usada para análise estatística. A altura do salto (AS) foi determinada pelo tempo de voo, enquanto o índice de força reativa (IFR) foi determinado como a altura de salto dividida pelo tempo de contato (TC).

3.10 Tempo até a exaustão na velocidade do $\dot{V}\text{O}_2\text{máx}$ (Tlim)

Os participantes realizaram um breve aquecimento de cinco minutos na velocidade de 10 km.h^{-1} , seguido por cinco minutos de exercícios de alongamentos leves que eles frequentemente utilizam em sua rotina de treino. A velocidade correspondente ao $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ ($v\dot{V}\text{O}_2\text{max}$) foi previamente implementada e o Tlim foi mensurado entre o intervalo de tempo

em que o sujeito retirou as mãos da barra de segurança da esteira e voltou a se apoiar nela. O $\dot{V}O_2$ de pico nessa tarefa foi estabelecido pela média dos últimos trinta segundos, ao passo que a frequência cardíaca de pico foi determinada pelo maior valor mensurado ao final do exercício. Os participantes que fizeram parte do grupo treinamento de força realizaram o teste de T_{lim} na $v\dot{V}O_{2max}$ correspondente ao pré treinamento, ou seja, na mesma velocidade absoluta. Amostras de sangue (25 μ l) foram coletadas do lóbulo da orelha direita em repouso, no primeiro, terceiro, quinto e sétimo minutos de recuperação para a determinação da concentração de lactato sanguíneo de pico por espectrofotometria (EONC, Biotek Instruments, USA).

3.11 Análise da atividade eletromiográfica

A atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos vasto medial (VM) e bíceps femoral (BF) da perna esquerda dos voluntários foi registrada no teste de 1RM durante toda a amplitude de movimento (fases excêntrica e concêntrica) em todas as tentativas de alcance da carga máxima. Antes de cada teste, eletrodos duplos (Ag/AgCl) com 1 cm de diâmetro e um espaço de 2 cm de centro-a-centro (Noraxon, Scottsdale, AZ, EUA) foram posicionados nos músculos VM e BF seguindo as orientações do SENIAM (do inglês *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*) para preparação da pele e posicionamento dos eletrodos. Na primeira sessão, a posição dos eletrodos foi marcada na pele com uma caneta dermográfica para garantir que o local do eletrodo durante todo o período experimental fosse consistente (HAKKINEN; KOMI, 1983). O sinal da EMG foi registrado com um sistema telemétrico, o qual tem um ganho de 1000 vezes e um comprimento de banda (–3 dB) de 10 a 500 Hz. A interação desse sistema com o computador é feita via uma conversor de 16 bits A/D (Myotrace 400, Noraxon, Scottsdale, AZ, EUA). Os dados da EMG foram filtrados por um filtro passa-banda de 20-400 Hz, e o envelope representando a ativação muscular foi determinando com um filtro RMS móvel com uma janela de 50 ms. O período de ativação de cada músculo foi determinado como o período onde o sinal estava acima de um limiar de 15% da atividade máxima daquele músculo durante o teste por, no mínimo, 100 ms. Estes parâmetros foram selecionados baseados na relação sinal-ruído dos dados da EMG e foram visualmente verificados para corretamente identificar os períodos de ativação muscular. Para cada período de ativação, foi calculada a EMG integrada (iEMG), definida como a área sob a curva da EMG versus o tempo dividida pelo período de ativação.

3.12 Treinamento de força

Ambos os grupos continuaram com seu treinamento habitual de corrida, mas diferentemente do grupo controle, o grupo experimental realizou o período de oito semanas de treinamento de força (TF). O treinamento foi prescrito com a intensidade entre 3 e 10 RM de acordo com a Tabela 3. Os exercícios e o volume (séries e repetições) do TF ao longo das semanas estão descritos abaixo. Cada série foi separada por 3 minutos de recuperação. Este treinamento teve a frequência de duas vezes por semana, sempre com um intervalo de 48 h entre as sessões semanais. No total, foram realizadas 16 sessões de treinamento.

Tabela 3 – Progressão da carga do treinamento de força.

Exercícios	Fase (semanas)	Volume
Meio agachamento, leg press, flexão plantar e extensão de joelhos	1 – 2	3 séries 8-10 RMs
	3 – 4	3 séries 6-8 RMs
	5 – 6	3 séries 4-6 RMs
	7 – 8	2 séries 3-5 RMs

RMs: repetições máximas.

3.13 Análise estatística

A distribuição dos dados foi previamente analisada pelo teste Shapiro-Wilk e todos mostraram uma distribuição gaussiana. A estatística descritiva foi reportada como média $\pm$ desvio padrão. O efeito do treinamento foi testado usando uma ANOVA two-way tendo o grupo (GC e GT) e o momento (Pré e Pós) como fatores independentes. Quando um valor de F significativo foi detectado, o teste post-hoc de Tuckey foi utilizado para identificar as diferenças. Comparações entre os grupos para o percentual de mudança (%) encontrado após o período experimental foram realizadas através de um teste t para amostras independentes. Todas as análises foram realizadas usando o software Statistica (Statistica 8, StataSoft Inc., Tulsa, OK, EUA). Para todos os tratamentos foi adotado um nível de significância inferior a 5% ($P < 0,05$).

4 RESULTADOS

Como previamente descrito, a amostra inicial foi composta por 20 corredores recreacionais. Todavia, durante o período experimental, dois sujeitos declinaram da participação no estudo por motivos pessoais (dificuldade no deslocamento e falta de tempo disponível). Assim, os dados a seguir foram gerados a partir da participação de 18 sujeitos (grupo controle $n = 9$ e grupo treinamento $n = 9$).

O volume de treinamento em termos de km/semana foi $38,6 \pm 4,4$; $41,3 \pm 9,1$; $36,3 \pm 7,7$ e $37,2 \pm 4,2$ km para os grupos treinamento (pré e pós) e controle (pré e pós), respectivamente. Não foram encontradas diferenças significativas em nenhuma das comparações realizadas ($P > 0,05$). A Tabela 4 apresenta as características antropométricas e a idade dos corredores. Da mesma forma, nenhuma diferença significativa foi observada para essas variáveis nas comparações entre grupos e momentos ($P > 0,05$). As variáveis fisiológicas e mecânicas mensuradas durante o teste progressivo até a exaustão e o teste de economia de corrida estão presentes na Tabela 5. Devido a problemas de armazenamento das amostras sanguíneas, não foi possível realizar a análise da concentração de lactato dos testes progressivos até a exaustão, e os limiares foram verificados pelo método ventilatório. Após o período de treinamento, não foram encontradas diferenças no $\dot{V}O_2\text{máx}$, LV, PCR e EC_{12} em nenhuma das comparações ($P > 0,05$). Contudo, houve uma diferença significativa entre os grupos para o percentual de mudança na VPE, com o GT tendo um maior percentual de mudança quando comparado ao GC ($P = 0,013$).

Tabela 4 – Características antropométricas e idade dos participantes antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.

	Grupo Controle ($n = 9$)		Grupo Treinamento ($n = 9$)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Massa corporal (kg)	$71,0 \pm 3,8$	$74,7 \pm 3,8$	$67,5 \pm 3,1$	$67,2 \pm 2,7$
GC (%)	$11,8 \pm 1,7$	$11,3 \pm 1,2$	$11,2 \pm 1,2$	$9,5 \pm 1,1$
Estatura (cm)	$174,3 \pm 9,9$	-/-	$173,7 \pm 11,4$	-/-
Idade (anos)	$32,9 \pm 9,2$	-/-	$34,1 \pm 7,7$	-/-

Os valores são apresentados como média $\pm$ desvio padrão. GC = gordura corporal. -/- = não foi determinado após o treinamento.

Tabela 5 – Variáveis mensuradas durante o teste progressivo até a exaustão e o teste de economia de corrida antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.

	Grupo Controle (n = 9)			Grupo Treinamento (n = 9)		
	Pré	Pós	Mudança (%)	Pré	Pós	Mudança (%)
$\dot{V}O_{2max}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	55,8 ± 5,3	56,8 ± 6,0	1,7 ± 7,5	54,3 ± 5,4	54,4 ± 5,3	0,2 ± 4,2
VPE (km.h ⁻¹)	17,6 ± 1,1	17,7 ± 1,5	0,6 ± 7,1	16,7 ± 1,3	17,2 ± 1,6	2,9 ± 2,6*
LV (km.h ⁻¹)	13,0 ± 0,5	13,0 ± 0,5	1,8 ± 3,5	12,6 ± 0,5	12,8 ± 0,7	0,1 ± 4,0
PCR (km.h ⁻¹)	15,8 ± 1,0	15,7 ± 1,2	1,2 ± 5,9	15,4 ± 1,1	16,0 ± 1,2	3,8 ± 3,4
EC ₁₂ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	41,8 ± 4,6	41,0 ± 4,2	-1,9 ± 10,4	42,5 ± 3,2	41,9 ± 4,0	-1,4 ± 3,6

Os valores são apresentados como média ± desvio padrão. $\dot{V}O_{2max}$ = consumo máximo de oxigênio. VPE = velocidade de pico na esteira. LV = limiar ventilatório. PCR = ponto de compensação respiratória. EC₁₂ = economia de corrida determinada na velocidade de 12 km/h. * Significativamente diferente do grupo controle (P < 0,05).

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam, respectivamente, as variáveis neuromusculares mensuradas durante o teste *drop jump*, durante o teste anaeróbio de Wingate e durante o Tlim. Nenhuma diferença estatística foi encontrada para as variáveis mensuradas em nenhum dos testes (P > 0,05). Da mesma forma, não houve interação significativa entre os fatores grupo (treinamento e controle) e momento (pré e pós) para essas variáveis (P > 0,05). Contudo, houve uma diferença significativa para o percentual de mudança na AS (P = 0,039), TC (P = 0,048) e IFR (P = 0,004) no GT quando comparado ao GC (Figura 3).

Tabela 6 – Variáveis neuromusculares mensuradas durante o teste de drop jump antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força

	Grupo Controle (n = 9)		Grupo Treinamento (n = 9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
AS (cm)	23,7 ± 6,1	22,5 ± 6,7	25,3 ± 7,2	27,9 ± 5,3
TC (segundos)	0,277 ± 0,08	0,289 ± 0,09	0,328 ± 0,12	0,287 ± 0,08
IFR (cm/s)	94,1 ± 37,2	91,9 ± 38,9	83,4 ± 26,7	103,4 ± 30,8

Os valores são apresentados como média ± desvio padrão. AS = altura do salto vertical. TC = tempo de contato com o solo. IFR = índice de força reativa.

Tabela 7 – Variáveis mecânicas mensuradas durante o teste anaeróbio de Wingate antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.

	Grupo Controle (n = 9)		Grupo Treinamento (n = 9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
PP (W)	673,1 ± 141,3	700,1 ± 146,5	613,2 ± 140,3	667,8 ± 135,0
PM (W)	550,1 ± 112,4	567,0 ± 108,3	505,7 ± 109,0	530,8 ± 109,1
PP _{RELA} (W/kg)	9,5 ± 1,2	9,4 ± 1,7	9,0 ± 1,2	9,9 ± 1,0
PM _{RELA} (W/kg)	7,7 ± 0,8	7,6 ± 1,1	7,5 ± 0,9	7,9 ± 0,9

Os valores são apresentados como média ± desvio padrão. PP = potência de pico. PM = potência média. PP_{RELA} = potência de pico relativa à massa corporal. PM_{RELA} = potência média relativa à massa corporal.

Tabela 8 – Tempo até a exaustão e variáveis fisiológicas mensuradas durante o teste de tempo limite na velocidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força.

	Grupo Controle (n = 9)		Grupo Treinamento (n = 9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Tlim (s)	335 ± 173	359 ± 173	322 ± 74	340 ± 62
VO ₂ pico (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	51,6 ± 6,6	51,7 ± 9,5	53,8 ± 6,1	54,0 ± 6,5
FCpico (bpm)	179 ± 11	175 ± 15	170 ± 13	180 ± 5
[La]pico (mmol/l)	11,8 ± 4,3	11,5 ± 5,2	9,9 ± 4,7	10,4 ± 6,1

Os valores são apresentados como média ± desvio padrão. Tlim = tempo até a exaustão. VO₂pico = pico do consumo de oxigênio. FCpico = frequência cardíaca de pico. [La]pico = pico das concentrações sanguíneas de lactato.

Figura 3. Percentual de mudança de variáveis neuromusculares do pré para o pós treinamento nos grupos treinamento de força (GT) e controle (GC). 1RM = força dinâmica máxima; iEMG = atividade eletromiográfica; AS = altura de salto; TC = tempo de contato; IFR = índice de força reativa. * Significativamente diferente entre os grupos ($P < 0,05$).

A Figura 4 demonstra os valores do teste de 1RM. Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre os grupos no período pré-treinamento ($P > 0,05$). Por outro lado, os valores de 1RM do GT mensurados no período pós-treinamento foram estatisticamente superiores aos valores mensurados pré-treinamento ($P = 0,001$). Além disso, esses valores também foram superiores aos do GC nas condições pré e pós-treinamento ($P = 0,05 - 0,01$). Esse aumento no 1RM foi acompanhado por uma tendência a um aumento no percentual de mudança da iEMG (GT = $476,2 \pm 249,9$ e $616,4 \pm 275,2$ μV ; GC = $401,2 \pm 366,1$ e $378,2 \pm 120,6$ μV ; pré e pós, respectivamente) ($P = 0,080$).

Figura 4. Força dinâmica máxima dos membros inferiores determinada a partir do teste de uma repetição máxima no exercício de meio agachamento antes e após a intervenção com o programa de treinamento de força. Os valores são apresentados como média $\pm$ desvio padrão. * = Significativamente maior que as demais condições ($P < 0,05$).

A Figura 5 demonstra a progressão da intensidade de treino no exercício meio agachamento, expressa como percentual da força dinâmica máxima (1RM) pré treinamento da primeira até a última semana de treinamento.

Figura 5. Intensidade de treino aplicada em cada semana de treinamento expressa como percentual da força dinâmica máxima (1 RM). Os valores são apresentados como média $\pm$ desvio padrão.

Antes do período de treinamento, não houve diferenças significativas entre os grupos no tempo total para percorrer os 10 km ($GT = 2626 \pm 307$ s; $GC = 2514 \pm 226$ s; $P > 0,05$). Após o período de treinamento, o GT melhorou seu desempenho em 2,5 %, que foi maior que o encontrado para o GC (-0.7 %) ($P = 0,039$). A Figura 6 apresenta a distribuição de velocidade e a resposta da PSE ao longo do teste contrarrelógio de corrida de 10 km. Nenhuma diferença significativa na velocidade foi encontrada quando os grupos e os momentos foram comparados (painéis A e B) ($P > 0,05$). Além disso, o padrão da estratégia de prova foi similar em todas as situações. Contudo, quando observamos apenas a distribuição de velocidade do GT (painel A), nota-se que a partir do quilômetro sete as curvas não mais se sobrepõem, destacando as maiores velocidades alcançadas após o período de treinamento. Essas diferenças ficam evidentes quando comparamos o percentual de mudança na velocidade de corrida (painel C), onde nas últimas sete parciais o GT mostrou valores significativamente maiores que o GC. O painel D apresenta o comportamento da PSE, que demonstrou um padrão linear independentemente do grupo e do momento. Por sua vez, não foram observadas diferenças em nenhuma das comparações quando a velocidade foi analisada em relação ao trecho inicial (primeiros 400 m), médio (entre 400-9600 m) e final (últimos 400 m) do teste contrarrelógio de corrida de 10 km (painel E) ($P > 0,05$). Por outro lado, a PSE mensurada no trecho médio foi significativamente maior que no trecho inicial ($P < 0,05$), do mesmo modo que a PSE do trecho final, que foi significativamente maior que nos trechos inicial e médio dentro do mesmo grupo e momento. Todavia, não foram observadas diferenças entre os grupos quando o momento foi comparado ($P > 0,05$) (painel F).

Figura 6. Velocidade e percepção subjetiva de esforço durante o teste contrarrelógio de corrida de 10 km. Painéis A e B: Valores médios da velocidade pré e pós treinamento mensurados a cada 400 m nos grupo treinamento e controle, respectivamente. Painel C: Percentual de mudança da velocidade em ambos os grupos. Painel D: Resposta da PSE ao longo da prova de 10 km. Painéis E e F, respectivamente: Valores médios da velocidade e da percepção subjetiva do esforço mensurados no trecho inicial, médio e final do teste. GT = grupo treinamento. GC = grupo controle. § = significativamente maior que o GC; * = significativamente maior que o trecho inicial dentro do mesmo grupo e momento; # = significativamente maior que o trecho médio dentro do mesmo grupo e momento. $P < 0,05$.

A Figura 7 demonstra os trechos da prova de 10 km em que os sujeitos atingiram as maiores velocidades. Através da análise individual, observa-se que tanto no momento pré quanto no pós treinamento, todos os voluntários alcançaram as maiores velocidades no trecho inicial ou final da corrida, o que está de acordo com a estratégia de prova geralmente observada para este tipo de prova. Porém, esta distribuição não foi modificada após o treinamento de força.

Figura 7. Trechos da prova de 10 km demonstrando onde as maiores velocidades foram encontradas nos dois grupos. (■ e □) grupo treinamento (● e ○) grupo controle.

5 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi verificar se um programa de treinamento de força realizado durante oito semanas alteraria a estratégia de prova e o desempenho de corredores de longa distância em uma corrida de 10 km. Nossos principais achados demonstraram que apesar do padrão de estratégia de prova adotado pelos corredores não ter se modificado, o treinamento de força produziu melhoras significativas nas características neuromusculares, que foram acompanhadas por velocidades finais mais altas para a mesma PSE. Isto resultou em um melhor desempenho nos 10 km para o grupo treinamento de força (GT) comparado ao grupo controle (GC). Portanto, embora a influência do treinamento de força no desempenho de endurance já tenha sido relatada (STOREN et al., 2008; TAIPALE et al., 2010), ao menos em nosso conhecimento este é o primeiro estudo a demonstrar em qual trecho de um teste contrarrelógio ocorre essa melhora.

A capacidade do músculo esquelético em produzir força tem sido relacionada a fatores neurais e metabólicos (AAGAARD; MAYER, 2007). Nesse sentido, estudos prévios têm usado atividade eletromiográfica (MIKKOLA et al., 2007), exercícios *all out* (RONNESTAD et al., 2015), salto vertical (MIKKOLA et al., 2011) e testes de 1 RM (BERTUZZI et al., 2013) para avaliar as adaptações anaeróbias e neuromusculares obtidas com o treinamento de força em atletas de endurance. Uma melhora na capacidade de produzir força máxima e explosiva é esperada quando participantes sem experiência em treinamento de força completam um programa de 4 a 8 semanas de treinamento. Em particular, o treinamento de força pode aumentar o desempenho de endurance por, no mínimo, dois mecanismos distintos. Primeiro, uma maior sincronização de unidades motoras produz um simultâneo aumento na amplitude e diminuição na frequência do sinal eletromiográfico, resultando em potencialização da força, o que melhora a eficiência e a coordenação. Assim, uma maior eficiência devido a alterações neurais atrasaria o início dos sinais relacionados à fadiga (CREER et al., 2004), permitindo aos corredores produzirem maiores velocidades de corrida. Além disso, um menor tempo de contato parece ser uma adaptação importante para o desempenho de endurance (PAAVOLAINEN et al., 1999a), visto que tem sido mostrado que é na fase de contato com o solo durante a corrida que o atleta pode aplicar força, destacando a importância da força reativa e do tempo de contato para essa modalidade (BEATTIE et al., 2014). Em nosso estudo, encontramos uma melhora de 26,7% para o desempenho no teste de 1 RM, 47% para a iEMG, 10,3% para a altura do salto, 12,5% para o tempo de contato medido durante o teste de salto e 24% para o índice de força reativa no GT. Estes resultados

estão de acordo com estudos anteriores que encontraram um aumento significativo no teste de 1RM (~ 18,0%), iEMG (16,2%) e altura do salto (6,1%), em um grupo similar de atletas após 6-8 semanas de treinamento de força (MIKKOLA et al., 2011; TAIPALE et al., 2010; BERTUZZI et al., 2013). Além disso, não detectamos alterações estatísticas nas medidas antropométricas (ou seja, peso e gordura corporal) em ambos os grupos após o período de treinamento, o que sugere que a melhoria da capacidade de produzir força no GT pode não ter sido associada a hipertrofia muscular. De fato, os resultados anteriores sugerem que um aumento na área de secção transversa é encontrado quando um maior volume de treinamento e o número de exercícios por grupo muscular é usado (DOCHERTY; SPORER, 2000). Um segundo mecanismo envolve uma menor força relativa gerada por passada, resultando em um maior recrutamento de fibras tipo I e atrasado recrutamento de fibras tipo II, retardando a fadiga. Esta adaptação poderia permitir os corredores manter uma velocidade relativamente maior no último terço da prova devido a uma maior disponibilidade de ATP via metabolismo aeróbio (TANAKA; SWENSEN, 1998). Em conjunto, estes dados reforçam a sugestão de que um programa de TF é capaz de promover mudanças nas características neuromusculares, aumentando a capacidade de produzir força em atletas de endurance (TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011).

Por outro lado, não foram detectadas diferenças estatísticas para o desempenho anaeróbio em ambos os grupos (GT e GC) após o período de treinamento. Este achado difere de outros estudos que relataram melhora no desempenho anaeróbio em corredores de longa distância após 8-9 semanas de um programa de treinamento de força (PAAVOLAINEN et al., 1999b; MIKKOLA et al., 2011). Estas discrepâncias entre os estudos podem ser parcialmente explicadas por diferenças nos regimes de treinamento. O protocolo de treinamento utilizado no presente estudo teve maior intensidade e menor volume do que a maioria dos estudos anteriores realizados com corredores de longa distância (PAAVOLAINEN et al., 1999b; TAIPALE et al., 2010; TAIPALE et al., 2013). Como resultado, nosso protocolo pode ter produzido um menor estresse na via glicolítica, o que não melhorou a capacidade do metabolismo anaeróbio láctico para ressintetizar ATP. Isto está de acordo com achados prévios indicando que o treinamento de força aumenta a capacidade anaeróbia em atletas que tradicionalmente usam regimes de treinamento com maior volume do que o utilizado no presente estudo (PIZZA et al., 1996). Além disso, tem sido relatado que aumentos na força muscular após o treinamento com maiores cargas (4-6RM), como o usado nas últimas semanas do nosso programa de treinamento (últimas 4 semanas), poderiam ser atribuídos a adaptações neurais incluindo aumento de ativação de unidades motoras, frequência de disparo

mais rápida, melhor sincronização e co-contração de antagonistas (DOCHERTY; SPORER, 2000). Assim, esses resultados podem sugerir que as características do nosso protocolo de treinamento podem ter levado a maiores adaptações nas características neuromusculares do que no metabolismo anaeróbio.

Em relação à estratégia de prova e ao desempenho, os nossos resultados mostraram que a média de melhora de 2,5% no tempo da prova de 10 km no GT parece ser o resultado de uma maior velocidade no último terço da corrida. Contudo, essas maiores velocidades não modificaram o padrão geral da estratégia de prova, visto que antes e após o treinamento os corredores adotaram um início mais rápido, diminuíram a velocidade na parte média da prova e aceleraram novamente no final. O que se pode observar é que após o treinamento de força, a curva velocidade-distância do GT foi deslocada para cima nos últimos três quilômetros da prova, o que permitiu um melhor desempenho total para esse grupo. Curiosamente, este aumento na intensidade do exercício não foi acompanhado por uma alteração na PSE, indicando que os atletas foram capazes de manter velocidades de corrida mais elevadas com percepção de esforço similar após um período de treinamento de força. Estudos anteriores propuseram que a PSE é gerada como uma consequência dos numerosos sinais aferentes durante o exercício e atua como um mediador de alterações na ativação do músculo esquelético (DE MORREE et al., 2012). Neste sentido, a PSE representa a integração das alterações nos sistemas fisiológicos durante o exercício dinâmico, e é considerada um regulador primário da estratégia de prova (TUCKER, 2009). Portanto, parece que melhoras nas características neuromusculares induzidas pelo treinamento de força podem ter permitido aos atletas se exercitarem em uma maior intensidade para o mesmo nível de esforço percebido. Além disso, é possível também que a maior sincronização e recrutamento de unidade motoras tenha permitido que os atletas do GT atingissem velocidades de corrida mais elevadas após o treinamento, mas com perturbações periféricas semelhantes em comparação com as observadas antes do período de treinamento. Estes resultados suportam a noção de que mecanismos neuromusculares relacionados à fadiga periférica são algumas das possíveis variáveis utilizadas pelo sistema nervoso central para regular a intensidade do exercício, particularmente durante a fase final de uma corrida contrarrelógio.

Por sua vez, em relação aos parâmetros fisiológicos relacionados à aptidão aeróbia, nossos resultados são consistentes com estudos anteriores que não observaram alterações para o $\dot{V}O_2\text{max}$ e PCR em atletas de longa distância após participarem de um programa de treinamento de força (STOREN et al., 2008; MIKKOLA et al., 2011; BERTUZZI et al., 2013). Parece que mudanças nessas variáveis fisiológicas são dependentes de

condicionamento aeróbio inicial, visto que estudos que observaram mudanças no $\dot{V}O_{2\max}$ e no PCR após um período de treinamento de força utilizaram indivíduos sedentários ou aerobiamente destreinados ($\dot{V}O_{2\max} < 40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (GETMAN et al., 1978; KAIKKONEN et al., 2000). Acredita-se que um período agudo de treinamento de força requer valores de consumo de oxigênio inferiores a 50% da capacidade máxima (HURLEY et al., 1984). Assim, é improvável que isto forneça um forte estímulo para melhorar a potência aeróbia, pois o treinamento de endurance que resulta em melhoras da aptidão aeróbia em corredores treinados normalmente são realizados em intensidades que requerem pelo menos 70-85% do $\dot{V}O_{2\max}$ (TANAKA et al., 1986; BILLAT et al., 2004). No entanto, é interessante observar que foi encontrado um aumento significativo no percentual de alteração da velocidade de pico na esteira (VPE) para o GT após o programa de treinamento. Acredita-se que a VPE é influenciada não somente pela potência aeróbia máxima, mas também pela economia de corrida e fatores anaeróbios e neuromusculares (NOAKES, 1988; MIKKOLA et al., 2011). No presente estudo, o programa de treinamento de força não mudou a economia de corrida e o desempenho anaeróbio, mas os parâmetros neuromusculares foram melhorados (i.e. 1 RM, DJ, TC e IFR). Portanto, os resultados do presente estudo sustentam o conceito de que um ligeiro aumento da VPE induzido pelo programa de treinamento de força é causado por alterações nas características neuromusculares, aumentando a capacidade de produzir força.

É necessário reconhecer algumas limitações do estudo. Primeiramente, é importante observar que nossa amostra foi composta de atletas moderadamente treinados. Além disso, os participantes não tinham experiência prévia com treinamento de força ou pliométrico. Esses atletas podem ser mais responsivos a esse tipo de treinamento do que atletas altamente treinados. Assim, recomenda-se cautela ao extrapolar estes resultados para atletas altamente treinados que frequentemente realizam sessões de treinamento com exercícios de força e potência. Em segundo lugar, o protocolo de treinamento foi limitado a quatro exercícios, que podem ter resultado em um volume de treinamento de força mais baixo do que aqueles que são frequentemente utilizados no "mundo real". Assim, estudos futuros devem comparar a eficácia de diversas modalidades de exercício, intensidade e duração para determinar quais treinamentos são mais eficazes para alterar a estratégia de prova selecionada por atletas de longa distância.

6 CONCLUSÃO

Com base nos achados e nas limitações do presente estudo, pode-se concluir que:

- O período de oito semanas de treinamento de força não foi capaz de modificar a estratégia de prova adotada;
- Não foram observadas diferenças nas variáveis fisiológicas determinantes do desempenho de endurance após o treinamento de força;
- Por outro lado, foram detectadas melhoras nas características neuromusculares dos corredores que realizaram o treinamento de força, o que resultou em velocidades finais mais rápidas e sustentadas em uma corrida de 10 km.
- Em resumo, esses achados sugerem que as características neuromusculares podem ser um determinante importante da intensidade do exercício durante as fases média e final de uma corrida de 10 km.
- Adicionalmente, é possível sugerir que o ganho de força após um programa de treinamento pode contribuir para reduzir a fadiga periférica em atletas de longa distância durante a fase final de um evento de endurance, resultando em um melhor desempenho total.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, p. 1318-1326, 2002.
- AAGAARD, P. Training-induced changes in neural function. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 31, p. 61-67, 2003.
- AAGAARD, P; MAYER, F. Neuronal adaptations to strength training. **Deutsche Zeitschrift Für Sport Medizin**. v. 58(2), p. 50-53, 2007.
- AAGAARD, P. et al. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 21(6), p. 298-307, 2011.
- ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. **Sports Medicine**, v. 35(10), p. 865-898, 2005.
- ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, v. 38(3), p. 239-252, 2008.
- ABBISS et al. Effect of hot versus cold climates on power output, muscle activation, and perceived fatigue during a dynamic 100-km cycling trial. **Journal of Sports Sciences**, v. 28(2), p. 117–125, 2010.
- AISBETT, B. et al. The influence of pacing during 6-minute supramaximal cycle ergometer performance. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 6(2), p. 187—198, 2003.
- AISBETT, B. et al. Influence of all-out and fast start on 5-min cycling time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, p. 1965-1971, 2009.
- ATKINSON, G. et al. Effects of music on work-rate distribution during a cycling time trial. **International Journal of Sports Medicine**, v.25, p. 611-615. 2004.
- BAILEY, S.J. et al. Fast-start strategy improves VO₂ kinetics and high-intensity exercise performance. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 43(3), p. 457–467, 2011.
- BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity. **Sports Medicine**, v.50, p.273-282, 1987.
- BARRETT-O'KEEFE, Z. et al. Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. **Journal of Applied Physiology**, v. 113, p.1846–1851, 2012.
- BARWOOD, M.J. et al. Early change in thermal perception is not a driver of anticipatory exercise pacing in the heat. **British Journal of Sports Medicine**. v. 46(13), p. 936-42, 2012.

BASSETT, D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32(1), p. 70-84, 2000.

BATH, D. et al. The effect of a second runner on pacing strategy and RPE during a running time trial. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 7, p. 26-32, 2012.

BEATTIE, K. et al. The effect of strength training on performance in endurance athletes. **Sports Medicine**, v. 44(6), p. 845-65, 2014.

BERTUZZI, R. et al. Bioenergetics and neuromuscular determinants of the time to exhaustion at velocity corresponding to VO_2max in recreational long-distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26(8), p. 2096-102, 2012.

BERTUZZI, R. et al. Strength-training with whole-body vibration in long-distance runners: a randomized trial. **International Journal of Sports Medicine**, v.34, p. 917-923, 2013.

BERTUZZI, R. et al. Pacing strategy determinants during a 10-km running time-trial: contributions of RPE, physiological, and muscular parameters. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v.28(6) p. 1688-1696, 2014.

BILLAT, V.L.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at VO_2max and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, v. 22, p. 90-108, 1996.

BILLAT, V.L. et al. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology**, v. 80, p. 159-161, 1999.

BILLAT, V.L. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Part I: aerobic interval training. **Sports Medicine**, v. 31, p. 13-31, 2001.

BILLAT, V.L. et al. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance runners. **Pflurys Archive: European Journal of Physiology**, v. 447, p. 875-83, 2004.

BILLAT, V.L. et al. Nonlinear dynamics of heart rate and oxygen uptake in exhaustive 10.000 m runs: influence of constant vs. freely paced. **The Journal of Physiological Sciences**, v. 56(1), p. 103-111. 2006.

BINI, R.R. et al. Physiological and electromyographic responses during 40-km cycling time trial: Relationship to muscle coordination and performance. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, p. 363-370, 2008.

BISHOP, D. et al. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31(6), p. 886-891, 1999.

BISHOP, D. et al. The influence of pacing strategy on VO_2 and supramaximal kayak performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34(6), p. 1041-1047, 2002.

BORG, G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14(5), p. 377-381, 1982.

BROWN, L.E.; WEIR, J.P. Procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology**, v. 4, p. 1-21, 2001.

BROZEK, J. et al. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. **Annals of the New York Academy of Science**, v.110, p. 113, 1963.

CHTOUROU, H. et al. Listening to music affects diurnal variation in muscle power output. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33 p. 43-47, 2012.

CONLEY, D.L.; KRAHENBUHL, G.S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 12, p. 357, 1980.

COQUART, J. B.; GARCIN, M. Knowledge of the endpoint: effect on perceptual values. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29(12), p. 976, 2008.

CORBETT, J. An analysis of the pacing strategies adopted by elite athletes during track cycling. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, p. 195-205, 2009.

CORBETT, J. et al. Influence of competition on performance and pacing during cycling exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44(3), p. 509–515, 2012.

COSTILL, D.L. The relationship between selected physiological variables and distance running performance. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 7(2), p. 61-6, 1967.

CREER, A.R. et al. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high-intensity sprint-interval training in trained cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, p. 92-98, 2004.

DAMASCENO, M.V. et al. Estratégia adotada em provas de natação estilo crawl: uma análise das distâncias de 800 e 1500m. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 15(3), p. 361-370, 2013.

DAMASCENO, M.V. et al. Acute static stretching alters neuromuscular function and pacing strategy during a 3-km time-trial running test. **PloS One**, v. 9(6):e99238, p. 1-8, 2014.

DE KONING, J.J. et al. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 2, p. 266–277, 1999.

DE KONING, J.J. et al. Regulation of Pacing Strategy during Athletic Competition. **PLoS One**, v. 6(1), p. 1-6, 2011.

DE MORREE, H. M. et al. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. **Psychophysiology**, v. 49(9), p. 1242-1253, 2012.

- DOCHERTY, D.; SPORER, A. Proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. **Sports Medicine** v. 30(6), p.385–394, 2000.
- ENOKSEN, E. et al. The effect of high- vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25(3), p.812-818, 2011.
- FAINA, M. et al. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.76, p. 13-20, 1997.
- FAULKNER, J. et al. The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. **Psychophysiology**, v. 45, p. 977–985, 2008.
- FOSTER, C. M. et al. Pacing strategy and athletic performance. **Sports Medicine**, v. 17(2), p. 77-85, 1994.
- FRANCH, J. et al. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilator demands. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, p. 1250-1256, 1998.
- FUKUNAGA, T. et al. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 172(4), p. 249-55, 2001.
- GARLAND, S.W. An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000m rowing. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, p. 39-42, 2005.
- GETTMAN, L.R. et al. The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 10(3), p. 171-176, 1978.
- GETTMAN, L.R. et al. A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 14(3), p. 229-234, 1982.
- GOSZTYLA, A.E. et al. The impact of different pacing strategies on five-kilometer running time trial performance. **Journal of Strength Conditioning Research**, v. 20, p.882-886, 2006.
- GUGLIELMO, L.G.A. et al. Effects of strength training on running economy. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, p. 27-32, 2009.
- HAKKINEN, K.; KOMI P.V. Electromyographic changes during strength training and detraining. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 15 (6), p. 455-60, 1983.
- HAKKINEN, K.; KOMI, P.V. Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 55, p. 147-155, 1986.

- HAKKINEN, K. Neuromuscular adaptation during strength-training, aging, detraining, and immobilization. **Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 6, p. 161-98, 1994.
- HAKKINEN, K. et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle aged and older people. **Journal of Applied Physiology**, v. 84(4), p. 1341–1349, 1998.
- HAKKINEN, K. et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, p. 42–52, 2003.
- HANON, C. et al. Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m Race. **International Journal of Sports Medicine**, v.29, p. 206–211, 2008.
- HETTINGA, F.J. et al. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 38, p.1484-1491, 2006.
- HICKSON, R.C, et al. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v.12, p. 336-339, 1980.
- HICKSON, R.C. et al. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 13(1), p.17-20, 1981.
- HICKSON, R.C. et al. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 65, p. 2285-90, 1988.
- HILL, A.V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Quarterly Journal of Medicine**, v. 16, p.135–71, 1923.
- HOFF, J. et al. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31(6) v. 870-877, 1999.
- HOFF, J. et al. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 12, p. 288–295, 2002.
- HOLM, L. et al. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. **Journal of Applied Physiology**, v. 105, p. 1454–1461, 2008.
- HOWLEY, E.T. et al. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 27, p. 1292-1301, 1995.
- HURLEY, B.F. et al. Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.16, p. 483-488, 1984.
- JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Practical assessment of body composition. **Physical of Sports Medicine**, v. 19, p.76-90, 1985.

JAMES, D.V.B. et al. Relationship between maximal oxygen uptake and oxygen uptake attained during treadmill middle-distance running. **Journal of Sports Sciences**, v. 25(8), p. 851-858, 2007.

JONES, A.M. Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 23, p.40–43, 2002.

JONES, A.M. et al. Influence of pacing strategy on O₂ uptake and exercise tolerance. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 18, p. 615-626, 2008.

JOSEPH, T. et al. Perception of Fatigue during Simulated Competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40(2), p. 381-386, 2008.

JUNG, A.P. The impact of resistance training on distance running performance. **Sports Medicine**, v. 33(7), p. 539-552, 2003.

KADI, F. et al. The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. **The Journal of Physiology**, v. 558(3), p. 1005-12, 2004.

KAIKKONEN H, et al. The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports** v. 10(4), p. 211-215, 2000.

KELLY, C.M. et al. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. **Journal of strength and Conditioning Research**, v. 22(2), p. 396-403, 2008.

KOHN, T.A. et al. Do skeletal muscle phenotypic characteristics of Xhosa and Caucasian endurance runners differ when matched for training and racing distances? **Journal of Applied Physiology**, v. 103(3), p. 932-40, 2007.

KUBO, K. et al. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. **Journal of Applied Physiology**, v. 91, p. 26-32, 2001.

KUIPERS, H. et al. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. **International Journal of Sports Medicine**, v. 24, p. 486-491. 2003.

LAMBERT, E.V. et al. Complex systems model of fatigue: integrative homoeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. **British Journal of Sport Medicine**, v.39, p. 52-62, 2005.

LAURSEN, P.B.; JENKINS, D.G. The scientific basis for high-intensity interval training. **Sports Medicine**, v. 32(1), p. 53-73, 2002.

LAURSEN, P. B. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? **Scandinavian Journal of Science and Sports**, v. 20, p. 1-10, 2010.

LIMA-SILVA, A.E. et al. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108(5), p. 1045-1053, 2010.

LIMA-SILVA, A.E. et al. Listening to Music in the First, but not the Last 1.5 km of a 5-km Running Trial Alters Pacing Strategy and Improves Performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33(10), p. 813-8, 2012.

LOVELESS, D.J. et al. Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37(7), p. 1231-6, 2005.

LUCIA, A. et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 31(5), p. 530-40, 2006.

LUCIA, A. et al. The key to top-level endurance running performance: a unique example. **British Journal of Sports Medicine**, v. 42(3), p.172-4, 2008.

MATTERN, C.O. et al. Impact of starting strategy on cycling performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 22, p. 350-355, 2001.

MAUGER, A.R. et al. Influence of Feedback and Prior Experience on Pacing during a 4-km Cycle Time Trial. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41(2), p. 451–458, 2009.

MAUGER, A.R. et al. The effect of non-contingent and accurate performance feedback on pacing and time trial performance in 4-km track cycling. **British Journal of Sports Medicine**. v.45(3):225-9, 2011.

MAUGER, A.R. et al. Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44(11), p. 2205-12, 2012.

MCLAUGHLIN, J.E. et al. Test of the classic model for predicting endurance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, p. 991-997, 2010.

MEYER, T. et al. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. **International Journal of Sports Medicine**, v.26, p 38-48, 2005.

MIKKOLA, J. et al. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, p. 602–611, 2007.

MIKKOLA, J. et al. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. **Journal of Sports Science**, v. 29, p. 1359-1371, 2011.

MILLET, G. P. et al. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, p. 1351-1359, 2002.

- MORGAN, D.W. et al. Ten kilometer performance and predicted velocity at $\text{VO}_2\text{máx}$ among well-trained male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 21, p. 78-83, 1989.
- MUEHLBAUER, T; MELGES, T. Pacing patterns in competitive rowing adopted in different race categories. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25(5), p. 1293–1298, 2011.
- MUNN, J. et al. Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. **Journal of Applied Physiology**, v. 99, p. 1880–1884, 2005.
- NETHERY, V.M. Competition between internal and external sources of information during exercise: influence on RPE and the impact of the exercise load. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 42, p. 172–178, 2002.
- NIKOLOPOULOS, V. et al. Pacing strategy in simulated cycle time trials is based on perceived rather than actual distance. **Journal of Science Medicine and Sport**, v. 4, p. 212-219, 2001.
- NOAKES, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 20, p. 319-330, 1988.
- NOAKES, T.D. et al. Peak treadmill running velocity during the VO_2max test predicts running performance. **Journal of Sports Science**, v. 8(1), p. 35-45, 1990.
- Noakes, T.D. et al. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans **British Journal of Sports Medicine**, v. 38(4), p. 511-514, 2004.
- NOAKES, T.D. et al. Which lap is the slowest? An analysis of 32 world mile record performances. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, p. 760-764, 2009.
- NORTON, K.; OLDS, T. **Measurement technique in anthropometry**. Anthropometrica. Sydney: University of New South Wales Press, p. 25-75, 1996.
- NUMMELA, A. et al. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v. 97, p. 1–8, 2006.
- NUMMELA, A. et al. Fatigue during a 5-km running time trial. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, p. 738-745, 2008.
- OSTERNIG, L.R. et al. Co-activation of sprinter and distance runner muscles in isokinetic exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 18(4) p.431-435, 1986.
- PAAVOLAINEN, L. et al. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. **International Journal of Sports Medicine**, v. 20, p. 516-521, 1999a.

- PAAVOLAINEN, L. et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology**, v. 86(5), p. 1527-1533, 1999b.
- PERREAULT, S. et al. Coming from behind: on the effect of psychological momentum on Sport performance. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 20, p. 421-436, 1998.
- PIACENTINI, M.F. et al. Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27(8), p. 2295-303, 2013.
- PIZZA, F.X. et al. Maximal accumulated oxygen deficit of resistance-trained men. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 21(5), p. 391-402, 1996.
- POTTEIGER, J.A. et al. Influence of music on ratings of perceived exertion during 20 minutes of moderate intensity exercise. **Perceptual and Motor Skills**, v. 91, p. 848–854, 2000.
- RAMSBOTTOM, R. et al. Training induced physiological and metabolic changes associated with improvements in running performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 23(3), p.171-176, 1989.
- RAUCH, H.G.L. et al. A signaling role for muscle glycogen in the regulation of pace during prolonged exercise. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39(1), p. 34-38, 2005.
- REEVES, N.D. et al. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. **Experimental Physiology**, v. 94.7 p. 825–833, 2009.
- RENOUX, J.C. et al. Oxygen deficit is related to the exercise time to exhaustion at maximal aerobic speed in middle distance runners. **Archives of Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 280-285, 1999.
- RONNESTAD, B.R. et al. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v. 10, p. 965–975, 2010.
- RONNESTAD, B.R. et al. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.25(1), p. 89-98, 2015.
- RUTHERFORD, O.M.; JONES, D.A. The role of learning and coordination in strength training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 55, p. 100-105, 1986.
- SALE, D. Neural adaptations to resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 20(5), p. 135-145, 1988.
- SAMOGIN LOPES, F.A. et al. Is acute static stretching able to reduce the time to exhaustion at power output corresponding to maximal oxygen uptake? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24(6), p. 1650-1656, 2010.

SANDALS, L.E. et al. Influence of pacing strategy on oxygen uptake during treadmill middle-distance running. **International Journal of Sports Medicine**, v. 27, p. 37-42, 2006.

SAUNDERS, P.U. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v. 34(7), p. 465-485, 2004.

Sawyer, B.J et al. Strength training increases endurance time to exhaustion during high-intensity exercise despite no change in critical power." **Journal of Strength and Conditioning Research** v. 28(3), p. 601-609, 2014.

SEDANO, S. et al. Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27(9), p. 2433–2443, 2013.

SEYNNES, O.R. et al. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. **Journal of Applied Physiology** v. 102, p. 368–373, 2007.

SHIMA, N. et al. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. **European Journal of Applied Physiology**, v. 86, p. 287–294, 2002.

SIMPSON, SD.; KARAGEORGHIS, C.I. The effects of synchronous music on 400-m sprint performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 24(10), p. 1095–1102, 2006.

SPURRS, R.W. et al. The effect of plyometric training on distance running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, p. 1-7, 2003.

ST CLAIR GIBSON, A; NOAKES, T.D. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v.38, p.797–806, 2004.

ST CLAIR GIBSON, A. et al. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. **Sports Medicine**, v. 36(8), p. 705-722, 2006.

STARON, R.S. et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. **Journal of Applied Physiology**, v. 70(2), p. 631-40, 1991.

STONE, M. R. et al. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4.000-m cycling time trial. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111(8), p. 1807-1813, 2011.

STOREN, O. et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, p. 1087-1092, 2008.

STRATTON, E. et al. Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, p. 40-45, 2009.

SUNDE, A. et al. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists." **Journal of Strength and Conditioning Research** 24(8): 2157-2165, 2010.

SWAIN, D. P. A model for optimizing cycling performance by varying power on hills and in wind. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29(8), p. 1104-1108, 1997.

TAIPALE, R.S. et al. Strength training in endurance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, p. 468-476, 2010.

TAIPALE, R.S. et al. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113(2), p. 325-35, 2012.

TANAKA, K. et al. Relationship of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 52, p. 51-6, 1983.

TANAKA, K. et al. Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 55, p. 248-252, 1986.

TANAKA, H.; SWENSEN, T. Impact of Resistance Training on Endurance Performance A New Form of Cross-Training? **Sports Medicine**, v. 25(3), p. 191-200, 1998.

THIEL, C. et al. Pacing in Olympic track races: Competitive tactics versus best performance strategy. **Journal of Sports Sciences**, v. 30(11), p. 1107–1115, 2012.

THOMPSON, K.G. et al. An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. **Journal of Sport Sciences**, v. 18, p. 421-431, 2000.

THOMPSON, K.G. et al. The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, p. 438-443, 2003.

TOMAZINI, F. et al. Head-to-head running race simulation alters pacing strategy, performance and mood state. **Physiology and Behavior**, v. 149, p.39-44, 2015.

TREHEARN, T. L.; BURESH, R. J. Sit-and-reach flexibility and running economy of men and women collegiate distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23(1), p. 158–162, 2009.

TUCKER, R. et al. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. **European Journal of Physiology**, v. 448, p.422–430; 2004.

TUCKER, R. et al. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 1(3), p. 233-245, 2006a.

TUCKER, R. et al. The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion." **Journal of Physiology**, v. 574, p. 905-915, 2006b.

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: The physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43(6), p. 392-400, 2009.

TURNES T, et al. A fast-start pacing strategy speeds pulmonary oxygen uptake kinetics and improves supramaximal running performance. **PLoS One**, v. 9(10): e111621, 2014.

ULMER, H.V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. **Experientia**, v. 52(5), p. 416-20, 1996.

WESTON, A.R. et al. Running economy of African and Caucasian distance runners. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 32(6), p. 1130-4, 2000.

WILSON, M.G. et al. Influence of accurate and inaccurate 'split-time' feedback upon 10-mile time trial cycling performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112(1), p. 231-6, 2012.

YOUNG, W. B.; BEHM, D. G. Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 43, p. 21-27, 2003.

ZAMPARO, P. et al. Energy cost of swimming of elite long-distance swimming. **European Journal of Applied Physiology**, v. 94, p. 697-704, 2005.

ANEXOS

ANEXO I – Principal artigo científico da presente Tese

ANEXO II – Termo de consentimento livre e esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. DADOS DO INDIVÍDUO

Nome completo _____

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

RG _____

Data de nascimento _____

Endereço completo _____

CEP _____

Fone _____

e-mail _____

2. RESPONSÁVEL LEGAL

Nome completo _____

Natureza (grau de parentesco, tutor, curador, etc.) _____

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

RG _____

Data de nascimento _____

Endereço completo _____

CEP _____

Fone _____

e-mail _____

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. Título do Projeto de Pesquisa

INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO DE FORÇA SOBRE A ESTRATÉGIA DE PROVA EM UMA CORRIDA DE 10 KM.

2. Pesquisador Responsável

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

3. Cargo/Função

Docente

4. Avaliação do risco da pesquisa:

☒ RISCO MÍNIMO ☐ RISCO BAIXO ☐ RISCO MÉDIO ☐ RISCO MAIOR

(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

5. Duração da Pesquisa

4 meses

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, DE FORMA CLARA E SIMPLES, CONSIGNANDO:

É bem documentado que a estratégia de prova influencia o desempenho em corridas de longa duração. Entre as variáveis fisiológicas relacionadas ao desempenho e que influenciam a escolha da estratégia está a economia de corrida. Como já está bem descrito, o treinamento de força tem se mostrado bastante eficaz na melhora deste parâmetro. Assim, pode-se pressupor que as adaptações neuromusculares promovidas pelo treinamento de força são capazes de modificar a economia de corrida e, consequentemente, a estratégia de prova de corredores de longa distância. Portanto, o objetivo do estudo é averiguar se após a aplicação de um programa de treinamento de força, há alteração na estratégia de prova em uma corrida de 10 km.

O estudo terá duração total de doze semanas, sendo as duas primeiras e as duas últimas destinadas aos testes pré e pós treinamento. Abaixo segue um *time-line* do desenho experimental.

Figura 1 – Time line do desenho experimental. Sessão 1 – antropometria (Ant) e familiarização 1 no meio agachamento e no drop jump (F1). Sessão 2 – familiarização 2 no meio agachamento e no drop jump (F2) e teste de wingate (W). Sessão 3 – teste de economia de corrida (EC). Sessão 4 – teste progressivo até a exaustão (TPE). Sessão 5 – 10 km em pista (10K). Sessão 6 – drop jump (DJ) e 1RM no meio agachamento (1RM). Sessão 7 – Teste de tempo limite (Tlim). TF – treinamento de força.

Você irá realizar três testes em esteira rolante. O primeiro será o teste de carga constante, no qual você irá correr na velocidade de 12 km.h^{-1} durante 6 minutos. O segundo será o teste progressivo até a exaustão, no qual a velocidade inicial de 10 km.h^{-1} será aumentada em $1 \text{ km.h}^{-1}.\text{min}^{-1}$ até a sua exaustão. A última velocidade alcançada durante esse teste será utilizada no teste de tempo limite, no qual você correrá o máximo de tempo nesta velocidade até a sua exaustão. Durante os testes máximos ficará uma pessoa em prontidão ao lado da esteira, para sua segurança. Durante todos os testes, o consumo de oxigênio (VO_2) será mensurado respiração a respiração por um analisador de gases.

Para avaliar a potência e a força máxima de membros inferiores, você irá realizar um teste de drop jump (salto em profundidade) e o teste de 1RM no aparelho *Smith machine* (barra guiada), respectivamente. Durante o teste de 1RM, será realizada uma série de tentativas para que seja mensurada a carga máxima suportada por você nesse exercício. O aparelho *Smith machine* possui uma trava de segurança, que garante o suporte da carga caso haja necessidade.

Para avaliação da sua composição corporal, serão medidas 8 dobras cutâneas por um avaliador com experiência nesse tipo de avaliação.

Você também realizará o teste de wingate. Este teste consiste em pedalar em esforço máximo em um cicloergômetro durante 30 segundos com a carga correspondente a 7,5% do seu peso corporal.

Além dos testes supracitados, você realizará uma corrida de 10 km em uma pista de 1000m, simulando um evento competitivo. Nesta sessão será mensurada sua frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço. Durante toda a prova, será oferecida água à vontade e a sua velocidade será registrada através de um GPS para análise da estratégia de prova adotada.

Caso você faça parte do grupo experimental, irá participar de um treinamento de força que consistirá no protocolo com quatro exercícios: meio agachamento no aparelho Smith, leg press, flexão plantar e extensão de joelhos. Este treinamento terá duração de oito semanas, com frequência de duas vezes por semana.

Todos os testes serão acompanhados por, no mínimo, dois pesquisadores com experiência prévia nos procedimentos realizados.

Em vista dos procedimentos aplicados, provavelmente existem poucos riscos e desconfortos. Dentre os possíveis desconfortos estão os relacionados ao teste progressivo até a exaustão voluntária e o teste de tempo limite, como náuseas, vômitos e enjôos. Entretanto, menos de 1% da população americana apresenta desconforto extremo durante este tipo de teste (American College of Sports Medicine). Além disso, esse tipo de teste é rotineiro em laboratórios de avaliação física, com poucos casos de desconforto excessivo por parte dos pacientes.

Ao final dos testes e das análises, você terá total acesso aos seus dados. Com os testes realizados, poderão ser fornecidos valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$, frequência cardíaca máxima, composição corporal, força máxima de membros inferiores e valores de VO_2 submáximo (na intensidade do teste de carga constante), além do resultado da sua prova de 10km.

Você poderá utilizar essas variáveis, por exemplo, em programas de treinamento.

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

1. Acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa, inclusive para dirimir eventuais dúvidas;
2. Liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência;
3. Salvaguarda da confidencialidade, sigilo e privacidade; e
4. Disponibilidade de assistência no HU ou HCFMUSP, por eventuais danos à saúde, decorrentes da pesquisa.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Av. Professor Mello Moraes, 65
Telefone: (11) 2985-6185
Mayara Vieira Damasceno
Endereço: Av. Professor Mello Moraes, 65
Telefone: (11) 98583-8674

VI. - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

São Paulo, ____/____/____

assinatura do sujeito da pesquisa
ou responsável legal

assinatura do pesquisador
(carimbo ou nome legível)