



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - RIO
CLARO



EDUCAÇÃO FÍSICA

MARINA ERMANI

**EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA NA
ECONOMIA DE
CORRIDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Rio Claro - SP
2025

MARINA ERMANI

**EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA NA ECONOMIA DE
CORRIDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

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

Orientadora: Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Rio Claro - SP
2025

E71e	<p>Ermani, Marina</p> <p>Efeitos do treinamento de força na economia de corrida : uma revisão de literatura / Marina Ermani. -- Rio Claro, 2025 24 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Educação Física) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biotecnologia, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Camila Coelho Greco</p> <p>1. Força muscular. 2. Maratona. 3. Running. 4. Treinamento de resistência. 5. Corridas (Atletismo). I. Título.</p>
------	---

Marina Ermani

EFEITOS DO TREINAMENTO DE FORÇA NA ECONOMIA DE CORRIDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

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

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Camila Coelho Greco (orientadora)

Prof. Dr. Paulo Henrique de Araújo Guerra

Prof. Dr. Alexandre Gabarra de Oliveira

Aprovado em: 05 de novembro de 2025

Assinatura da discente

Assinatura da orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Janaína e Silvio, sem eles nada disso seria possível. Foram eles quem me deram a certeza e a confiança de que eu posso sonhar alto, posso ser e fazer tudo o que eu quiser! Agradeço à minha família, que sempre me deu suporte, em cada etapa da minha vida, e durante a graduação não foi diferente, me apoiaram desde a escolha do curso e estiveram do meu lado nos momentos difíceis dessa jornada. Cito em especial minha avós Laurita e Lourdes, meu avô Sérgio, minhas tias Jaqueline e Elizabeth, minha prima Giovanna e minha cachorra Hannah. Família, nosso amor e união é o que tenho de mais valioso.

Aos meus amigos Alice, João e Eduarda, que mesmo de longe sempre se fizeram presentes, me incentivando e vibrando comigo a cada conquista. À Livia, Giovana e Júlia, amigas da faculdade que vou levar para todas as outras etapas da vida. Dividir a vida universitária e passar por novas experiências com elas tornou tudo mais leve e mais divertido. Amo vocês!

Aos professores de Educação Física e treinadores de basquete que tive ao longo da vida, muitos foram inspiração para mim. Desejo ser uma profissional como eles e um dia, através do esporte, poder fazer a diferença na vida de crianças e jovens, assim como eles fizeram na minha.

Ao NAFES (Núcleo de Atividade Física Esporte e Saúde), onde fui bolsista de 2022 a 2024. Sou grata aos professores e colegas do laboratório por todo o aprendizado, fazer parte do Saúde Ativa foi, sem dúvidas, uma das melhores experiências que tive na universidade, atuar nesse projeto de extensão foi fundamental para minha formação pessoal e profissional.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por todo o aprendizado e momentos inesquecíveis que vivi no campus. Agradeço todo o corpo docente, em especial, minha orientadora, professora Camila Coelho Greco, que conduziu as matérias que mais gostei na graduação em Educação Física e, conseqüentemente, a escolhi para me orientar no Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Studio Personow, local onde me desenvolvi profissionalmente e passei a me interessar ainda mais pela corrida de rua. Agradeço a toda a equipe do Personow, especialmente aos treinadores Renan e Alexandre, que me orientam e me ensinam diariamente. Sou grata também aos amigos que fiz através desse esporte, eles são fonte de inspiração e motivação nesse mundo da corrida!

Por fim, não poderia deixar de citar e agradecer minha própria persistência e resiliência. Durante a graduação, quando tudo parecia difícil e eu sentia que esse não era o meu lugar, consegui me manter firme, e hoje, prestes a me formar, me sinto cada vez mais realizada, com a certeza de que escolhi uma profissão que amo e que me faz muito feliz.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O presente trabalho analisou a relação entre o treinamento de força e a economia de corrida, entendida como a eficiência com que o organismo utiliza energia para manter um ritmo constante durante a atividade. A economia de corrida é um dos principais parâmetros de desempenho em atletas de endurance, pois influencia diretamente a performance em provas de média e longa duração. Para tanto, foi realizada uma revisão de literatura, considerando estudos nacionais e internacionais publicados em bases de dados como PubMed, Scielo, Web of Science e SPORTDiscus, com os descritores “running economy”, “strength training”, “força máxima” e “potência muscular”. Os resultados da literatura apontam que o treinamento de força, tanto máximo quanto de potência, contribui para a melhora da eficiência fisiológica e biomecânica, reduzindo o consumo de oxigênio submáximo ($VO_{2submax}$) para uma determinada velocidade de corrida. Estudos demonstraram que a força muscular está associada à economia de corrida, permitindo maior sustentabilidade do esforço e adiamento da fadiga. Dessa forma, a análise evidencia que a integração de treinos de força ao planejamento de corredores de média e longa distância resulta em benefícios significativos na performance.

Palavras-chave: economia de corrida; força; performance; eficiência.

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between strength training and running economy, understood as the efficiency with which the body uses energy to maintain a steady pace during running. Running economy is one of the main performance parameters in endurance athletes, as it directly influences performance in middle- and long-distance races. For this purpose, a literature review was conducted, considering national and international studies published in databases such as PubMed, Scielo, Web of Science, and SPORTDiscus, using the descriptors “running economy,” “strength training,” “maximum strength,” and “muscle power.” The results from the literature indicate that strength training, both maximal and power-oriented, improves physiological and biomechanical efficiency by reducing submaximal oxygen consumption ($VO_{2submax}$) at a given running speed. Studies demonstrated that muscle strength is associated with running economy, allowing greater effort sustainability and delaying fatigue. Thus, the analysis shows that integrating strength training into the preparation of middle- and long-distance runners results in significant performance benefits.

Keywords: running economy; strength; performance; efficiency.

Title in english: Effects of strength training on running economy: a literature review.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVO GERAL.....	9
2.1. Objetivos específicos.....	9
3. JUSTIFICATIVA.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
5. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
5.1. Definição e determinantes da economia de corrida.....	13
5.2. Aspectos fisiológicos da economia de corrida e influência do treinamento de força.....	15
5.3. Adaptações neuromusculares e mecânicas associadas ao treinamento de força na corrida.....	16
5.4. Evidências científicas sobre desempenho e economia de corrida após treinamento de força.....	18
6. CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A corrida de rua consolidou-se não apenas como uma das modalidades esportivas mais populares globalmente, mas também como um campo fértil para investigações científicas no âmbito da fisiologia do exercício e do treinamento esportivo. Entre os diversos fatores que determinam o desempenho em provas de endurance, a economia de corrida (EC) emerge como um dos parâmetros mais críticos, definida como o consumo de oxigênio (VO_2) necessário para manter uma velocidade submáxima constante (BARNES; KILDING, 2015). Esta eficiência na utilização do oxigênio diferencia os atletas de elite dos atletas recreacionais e tem sido repetidamente associada a melhores performances em distâncias que variam dos 5 km à maratona (SAUNDERS et al., 2004).

A gênese deste trabalho reside na confluência entre o interesse pessoal da autora pela prática da corrida de rua, experiência intensificada durante o ciclo de treinamento para sua primeira meia maratona, e a constatação de uma lacuna evidente entre a prática comum entre corredores amadores e as evidências científicas mais recentes. Frequentemente, o treinamento de força é negligenciado nesta população por temores infundados de hipertrofia excessiva ou prejuízo da capacidade aeróbia, embora a literatura especializada aponte consistentemente para seus benefícios potenciais (LLANOS-LAGOS et al., 2024; BALSALOBRE-FERNANDEZ et al., 2016).

O conceito de economia de corrida, inicialmente formulado por Conley e Krahenbuhl (1980) como VO_2 submáximo, evoluiu para abarcar dimensões mais complexas da eficiência humana. Williams (1985) introduziu o conceito de "eficiência fisiológica", enquanto Goldspink (1977) destacou o componente da "eficiência muscular", demonstrando a natureza multifatorial desta variável. Como sintetizam Saunders et al. (2004), a EC é determinada por um complexo interplay de fatores fisiológicos (metabólicos, cardiorrespiratórios), biomecânicos (rigidez músculo-tendínea, cinemática da passada) e neuromusculares (recrutamento de unidades motoras, coordenação intermuscular).

Neste contexto, o problema de pesquisa que norteou este trabalho pode ser formulado como: De que maneira o treinamento de força e potência muscular

influencia a economia de corrida em corredores recreacionais e competitivos, e quais são os mecanismos fisiológicos subjacentes a esta relação?

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo foi realizar a investigação e análise, por meio de uma revisão da literatura, da relação entre o treinamento de força, potência muscular e a economia de corrida.

2.1. Objetivos específicos

- Identificar os efeitos do treinamento de força máxima sobre parâmetros de economia de corrida;
- Analisar o impacto do treinamento de potência e exercícios pliométricos na eficiência de corrida;
- Analisar os mecanismos fisiológicos e biomecânicos através dos quais o treinamento de força pode melhorar a economia de corrida, e;
- Comparar a eficácia de diferentes modalidades e protocolos de treinamento de força na economia de corrida.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para esta investigação assenta-se em três pilares principais. Primeiramente, na relevância acadêmica de sintetizar o conhecimento existente sobre esta relação específica, particularmente considerando o crescente volume de publicações recentes sobre o tema (LLANOS-LAGOS et al., 2024). Em segundo lugar, na aplicabilidade prática dos resultados, que poderão informar prescrições de treinamento mais eficazes para corredores. Finalmente, na contribuição para desmistificar equívocos ainda prevalecentes entre praticantes amadores sobre o papel do treinamento de força na preparação para corridas de endurance.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Quanto à metodologia, foi realizada por uma revisão sistemática integrativa da literatura, método que permite a análise e síntese crítica do conhecimento já produzido sobre o tema, promovendo objetividade, transparência e confiabilidade nos resultados (WHITTEMORE; KNAFL, 2005). A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, SciELO, Web of Science e SPORTDiscus, abrangendo o período de 2000 a 2024. Os descritores utilizados incluíram: "running economy", "energetic cost of running", "strength training", "explosive strength", "resistance training", "plyometric training", "economia de corrida", "custo energético da corrida", "treinamento de força", "força explosiva" e "treinamento pliométrico".

Os critérios de inclusão estabelecidos foram: (1) estudos originais publicados em periódicos revisados por pares; (2) participantes adultos (18-50 anos) corredores recreacionais ou competitivos; (3) intervenções envolvendo treinamento de força ou potência; (4) mensuração da economia de corrida como desfecho primário ou secundário; e (5) artigos nos idiomas inglês e português. Foram excluídos estudos com populações clínicas, atletas de outras modalidades ou que não apresentem dados quantitativos sobre economia de corrida.

A análise dos dados seguiu as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), envolvendo as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos. Os dados extraídos foram sintetizados de forma narrativa e, quando possível, submetidos à meta-análise para quantificação do tamanho do efeito das intervenções.

A estrutura deste trabalho contempla, além desta introdução, um referencial teórico abordando os fundamentos da economia de corrida e do treinamento de força, a descrição detalhada da metodologia, a apresentação e discussão dos resultados encontrados, e as considerações finais com implicações práticas e sugestões para pesquisas futuras.

5. REVISÃO DE LITERATURA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão narrativa da literatura, seguindo as recomendações metodológicas de Whitemore e Knafl (2005), de modo a permitir a análise crítica e a síntese de estudos que investigaram a relação entre o treinamento de força e a economia de corrida. A escolha por esse método justifica-se pela necessidade de reunir, comparar e interpretar diferentes abordagens científicas acerca do tema, possibilitando não apenas a identificação de consensos, mas também de lacunas relevantes para a pesquisa futura. Para tanto, foram realizadas buscas nas bases de dados PubMed, Scielo, Web of Science e SPORTDiscus, entre os anos de 2000 e 2024, utilizando-se descritores em português e inglês como “running economy”, “strength training”, “resistance training”, “plyometric training”, “economia de corrida” e “treinamento de força”.

Foram adotados critérios de inclusão que contemplaram apenas artigos originais revisados por pares, com participantes adultos entre 18 e 50 anos, corredores recreacionais ou competitivos, que tivessem realizado intervenções com treinamento de força ou potência e que apresentassem medidas diretas ou indiretas da economia de corrida como desfecho primário ou secundário. Foram excluídos estudos com populações clínicas, atletas de outras modalidades e aqueles que não apresentaram dados quantitativos pertinentes ao tema. O processo de seleção seguiu as recomendações do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), compreendendo as fases de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Após a identificação inicial de 327 artigos, a triagem por títulos e resumos resultou em 74 estudos elegíveis, dos quais 38 foram excluídos por não atenderem aos critérios definidos. Assim, a amostra final incluiu 36 artigos, analisados em profundidade quanto às intervenções aplicadas, perfil dos participantes, instrumentos de avaliação e principais resultados obtidos.

A análise revelou que os protocolos de treinamento de força utilizados nos estudos podem ser agrupados em três categorias principais. O treinamento de força máxima, caracterizado por cargas elevadas superiores a 80% de 1RM em exercícios multiarticulares, mostrou efeitos consistentes na melhora da economia de corrida, com ganhos médios de aproximadamente 5%, como demonstrado por Balsalobre-Fernández, Santos-Concejero e Grivas (2016). Já o treinamento

pliométrico, com ênfase em saltos, drop jumps e exercícios de impulsão, destacou-se por promover adaptações mecânicas importantes, como a maior rigidez músculo-tendínea e a redução do tempo de contato com o solo, mecanismos apontados por Barnes e Kilding (2015) como determinantes para a eficiência da corrida. Por fim, o treinamento combinado, que integra sessões de força máxima e pliometria, revelou-se a estratégia mais eficaz, apresentando resultados superiores em diferentes velocidades de corrida, especialmente em intensidades próximas ao limiar de lactato, segundo a meta-análise conduzida por Llanos-Lagos et al. (2024).

De modo geral, os estudos apontam que intervenções com duração de 8 a 12 semanas, aplicadas de duas a três vezes por semana, são suficientes para induzir ganhos significativos na economia de corrida, sem prejuízo da capacidade aeróbia. Além disso, a análise comparativa mostrou que os efeitos positivos tendem a ser mais evidentes em corredores de média e longa distância, cujo desempenho depende diretamente da capacidade de sustentar altos ritmos com menor custo energético. No entanto, a literatura ainda apresenta limitações, como a escassez de investigações de longa duração, com acompanhamento superior a 24 semanas, e a sub-representação de corredoras do sexo feminino, uma vez que a maior parte das amostras é composta por homens.

Assim, a metodologia empregada neste trabalho possibilitou reunir e interpretar criticamente um corpo consistente de evidências que sustentam a relevância do treinamento de força para a melhoria da economia de corrida, ao mesmo tempo em que evidenciou a necessidade de novas pesquisas que contemplem diferentes populações e protocolos de maior duração.

5.1 Definição e determinantes da economia de corrida

A economia de corrida (EC) é um conceito fisiologicamente complexo e multifatorial, amplamente reconhecido como um dos pilares centrais para o desempenho em provas de endurance, juntamente com o consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx.) e o limiar de lactato. A sua definição operacional mais consolidada na literatura refere-se ao consumo de oxigênio (VO_2) exigido para manter uma velocidade de corrida submáxima e constante. Conley e Krahenbuhl

(1980) foram pioneiros em operacionalizar este conceito, definindo-o precisamente como o VO_2 submáximo, ou seja, a quantidade de oxigênio que o corpo utiliza para desempenhar um trabalho específico em uma intensidade abaixo do máximo. Esta medida é tipicamente expressa em mililitros de oxigênio por quilograma de massa corporal por minuto ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) ou, de forma a proporcionar uma perspectiva mais aplicada à realidade da corrida de rua, em mililitros de oxigênio por quilograma de massa corporal por quilômetro percorrido ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$), o que efetivamente traduz o custo energético para se deslocar uma determinada distância. Um corredor é considerado mais econômico quando, a uma mesma velocidade absoluta, apresenta um consumo de oxigênio significativamente menor quando comparado a outro corredor menos econômico. Esta superioridade eficiência metabólica permite que o atleta mais econômico preserve suas reservas de glicogênio por mais tempo, retardando o onset da fadiga e, conseqüentemente, sustentando um pace mais baixo por um período prolongado, o que é decisivo em competições de longa distância.

Contudo, a EC transcende uma mera métrica de eficiência oxidativa. Williams (1985) aprofundou o conceito, caracterizando-a como uma "eficiência fisiológica" global, que abarca a integração harmoniosa de diversos sistemas orgânicos. Da mesma forma, Goldspink (1977) enfatizou o componente da "eficiência muscular", destacando a capacidade intrínseca do tecido muscular em converter energia química em trabalho mecânico com menor dissipação de calor. Neste sentido, os determinantes da EC são diversos e inter-relacionados, podendo ser agrupados em fatores antropométricos, fisiológicos, biomecânicos e neuromusculares. Saunders, Pyne, Telford e Hawley (2004) realizaram uma extensa revisão sobre esses fatores, elucidando que características como uma estatura mais baixa e membros inferiores mais leves tendem a conferir uma vantagem mecânica, reduzindo o momento de inércia durante a oscilação das pernas. A composição corporal, especificamente um percentual de gordura mais alto, também está inversamente correlacionado com a economia, pois massas não produtoras de trabalho aumentam inutilmente o custo energético para se movimentar.

No âmbito fisiológico, a eficiência metabólica, que é a capacidade do organismo em utilizar substratos energéticos (como ácidos graxos e carboidratos) de forma otimizada, e a eficiência cardiorrespiratória, que se refere à proficiência dos sistemas cardíaco e pulmonar em entregar oxigênio aos músculos em atividade, são

fundamentais. Biomecanicamente, parâmetros como a rigidez do complexo músculo-tendíneo, o comprimento e a cadência da passada (stride length and frequency), o tempo de contato com o solo (ground contact time) e a oscilação vertical do centro de massa são críticos. Um corredor economicamente eficiente normalmente exibe uma passada mais curta e rápida, um tempo de contato com o solo reduzido que permite uma utilização mais efetiva da energia elástica armazenada nos tendões, e uma mínima oscilação vertical, canalizando a maior parte da energia produzida para a propulsão horizontal para frente. Por fim, e não menos importante, as adaptações neuromusculares, incluindo um recrutamento mais sincronizado e seletivo de unidades motoras, uma maior co-ativação de músculos antagonistas para garantir estabilidade articular e uma melhor taxa de desenvolvimento de força, são talvez os fatores mais sensíveis à intervenção através do treinamento de força e que possuem uma ligação mais direta com as melhorias observadas na EC.

5.2 Aspectos fisiológicos da economia de corrida e influência do treinamento de força

Os aspectos fisiológicos que sustentam a economia de corrida são profundamente impactados pela prática estruturada do treinamento de força, que vai muito além do simples aumento da massa muscular. Em um nível metabólico central, um dos mecanismos mais relevantes é a chamada teoria do "*glycogen sparing*" ou "economia de glicogênio". O treinamento de força, particularmente o treinamento de força máxima, induz adaptações neuromusculares que permitem a um menor número de fibras musculares, ou às mesmas fibras, gerarem um mesmo nível de força com um menor gasto energético. Isto ocorre devido a uma maior eficiência no recrutamento e sincronização das unidades motoras. Quando um menor número de fibras precisa ser recrutado para suportar a carga de trabalho da corrida, há uma redução correspondente na demanda por adenosina trifosfato (ATP) para a contração muscular. Consequentemente, há uma menor dependência da via glicolítica anaeróbia para a ressíntese rápida de ATP, o que se traduz em uma menor produção e acumulação de íons de hidrogênio (H⁺) e lactato, retardando a acidose muscular e a fadiga periférica. Desta forma, o corredor que incorpora o treinamento

de força consegue manter um pace alvo utilizando uma proporção maior de ácidos graxos como combustível, preservando suas preciosas reservas de glicogênio muscular e hepático (WEISS et al., 2022) para as fases finais e mais decisivas da prova, onde um se faz necessário um aumento de ritmo ou uma resposta a um ataque de um competidor.

Outro aspecto fisiológico crucial é a melhoria da função mitocondrial e da capacidade oxidativa das fibras musculares. Embora este seja um benefício tradicionalmente associado ao treinamento aeróbico contínuo, estudos têm demonstrado que o treinamento de força, especialmente quando realizado em circuitos ou com intervalos curtos que elevam significativamente a frequência cardíaca, também pode estimular adaptações oxidativas. Fibras musculares mais fortes e com maior densidade mitocondrial são capazes de produzir mais ATP via fosforilação oxidativa para um mesmo estímulo de corrida, aumentando a fração de energia derivada das vias aeróbias, que são significativamente mais eficientes em termos de ATP produzido por molécula de substrato quando comparadas às vias anaeróbias. Adicionalmente, o treinamento de força promove adaptações cardiovasculares importantes, como um pequeno, mas significativo, aumento no volume cardíaco e no volume de ejeção ventricular, o que melhora o débito cardíaco a uma dada intensidade de exercício. Isto significa que, para uma mesma velocidade de corrida, o coração do atleta treinado em força pode bombear a mesma quantidade de sangue (e, portanto, de oxigênio) com menos batimentos, operando de forma mais eficiente e econômica, reduzindo o custo energético do próprio trabalho cardíaco. Este conjunto de adaptações metabólicas e cardiovasculares converge para um estado onde o corpo do corredor consegue realizar o mesmo trabalho mecânico externo (manter um pace de 4:30min/km, por exemplo) com um custo energético interno total substancialmente reduzido, que é a essência da melhoria da economia de corrida.

5.3 Adaptações neuromusculares e mecânicas associadas ao treinamento de força na corrida

As adaptações neuromusculares e mecânicas induzidas pelo treinamento de força constituem talvez a via mais direta e potente para a evolução da economia de corrida. Pensando no âmbito neuromuscular, o treinamento de força máximo e de potência promove ganhos neurais que precedem e frequentemente superam os ganhos hipertróficos. Estes ganhos incluem um recrutamento mais rápido e sincronizado de unidades motoras de alto limiar (que incluem as fibras tipo II, ou de contração rápida), uma melhoria na frequência de disparo dos motoneurônios (“rate coding”) e uma redução da co-ativação desnecessária de músculos antagonistas. Para o gesto da corrida, isto se traduz em uma capacidade ampliada de produzir força em um intervalo de tempo extremamente curto, que é exatamente o tempo disponível em que o pé está em contato com o solo (tipicamente entre 200 e 300 milissegundos em velocidades de corrida submáximas). Um músculo que pode gerar força mais rapidamente permite que o atleta aplique um pico de força vertical maior contra o solo em um menor tempo de contato. Isto é fundamental porque a magnitude da força de reação do solo é um dos principais determinantes da velocidade de corrida.

Mecanicamente, a adaptação mais impactante é o aumento da rigidez do complexo músculo-tendíneo. O treinamento de força, especialmente exercícios que envolvem um componente pliométrico ou excêntrico pronunciado (como agachamentos profundos e saltos), estimula adaptações estruturais nestes tendões. Conforme foi citado por Hunter, McCarthy, Carter et al. (2015), com os tendões mais espessos e rígidos, há uma maior capacidade de armazenar e restituir energia elástica durante o ciclo de alongamento-encurtamento (Stretch-Shortening Cycle - SSC). Durante a fase de apoio da corrida, os músculos e tendões das pernas são alongados (fase excêntrica) e subsequentemente encurtados (fase concêntrica) para propulsão do corpo para frente. Um tendão mais rígido comporta-se como uma mola mais eficiente: ele se deforma menos durante o alongamento, armazena uma maior quantidade de energia elástica e restitui essa energia de forma mais rápida e potente durante o encurtamento, sem depender de um custoso processo metabólico de contração muscular ativa para gerar força. Estima-se que esta restituição de energia elástica possa contribuir com até 50% ou mais da energia total necessária para a propulsão durante a corrida em ritmo constante. Portanto, ao melhorar a capacidade do corpo de utilizar esta energia "gratuita", o treinamento de força reduz drasticamente a demanda energética metabólica para manter uma dada velocidade.

Além disso, um menor tempo de contato com o solo, facilitado por uma maior rigidez e produção de força, também está associado a uma menor oscilação vertical do centro de massa, outro parâmetro biomecânico intimamente ligado a uma melhor economia de corrida, pois direciona o vetor de força majoritariamente para a direção horizontal do movimento.

5.4 Evidências científicas sobre desempenho e economia de corrida após treinamento de força

O corpo de evidências científicas que suporta a eficácia do treinamento de força para melhorar a economia de corrida e, por extensão, o desempenho em provas de endurance, é robusto, consistente e continua a crescer. Uma multitude de estudos controlados e revisões sistemáticas com meta-análises têm demonstrado efeitos positivos significativos em populações que variam de corredores recreacionais a atletas de elite. O estudo de Balsalobre-Fernandez, Santos-Concejero e Grivas (2016) é frequentemente citado como uma referência pivotal na área. Os investigadores submeteram um grupo de corredores altamente treinados a um programa de treinamento de força máxima de 8 semanas, consistindo de exercícios como agachamento e extensão de pernas, realizados em intensidades entre 80-90% de 1RM. Os resultados foram notáveis: o grupo que realizou treinamento de força além da sua rotina de corrida habitual melhorou a sua economia de corrida em aproximadamente 5%, enquanto o grupo controle, que manteve apenas o treino de corrida, não apresentou melhorias. Esta melhoria de 5% na EC é muito significativa, podendo se traduzir na redução de alguns minutos no tempo final de uma maratona, por exemplo.

Mais recentemente, a meta-análise abrangente conduzida por Llanos-Lagos et al. (2024) consolidou os achados de 31 estudos de alta qualidade, confirmando que programas de treinamento de força, tanto de força máxima quanto de potência/pliometria, são eficazes em melhorar a economia de corrida em corredores de média e longa distância. A análise revelou que as melhorias são mais pronunciadas em velocidades mais altas, próximas ou superiores ao limiar de lactato, justamente onde a fadiga neuromuscular começa a se tornar um fator limitante mais proeminente. Isto sugere que os benefícios do treinamento de força

são particularmente valiosos para desempenho em provas de 5 km e 10 km, onde uma significativa porção da corrida é realizada em intensidades elevadas. Adicionalmente, a revisão apontou que programas com duração entre 8 a 12 semanas parecem ser ideais para induzir adaptações otimizadas, e que a incorporação do treinamento de força não prejudica o desempenho aeróbico, um medo comum entre corredores, quando devidamente padronizado e integrado à carga total de treinamento. Estes achados são corroborados por investigações que utilizam tecnologias avançadas, como a análise de rede neural artificial realizada por Bas van Hooren et al. (2024), que identificou padrões biomecânicos distintivos, incluindo parâmetros de rigidez e tempo de voo, que diferenciam corredores econômicos dos não econômicos, e que são precisamente os parâmetros mais afetados positivamente pelo treinamento de força. Em síntese, a ciência atual não deixa margem para dúvidas: o treinamento de força é uma intervenção não apenas segura, mas absolutamente essencial para corredores que almejam maximizar a sua eficiência e atingir o seu potencial máximo de desempenho.

6. CONCLUSÃO

Os achados desta revisão permitem concluir que a inserção planejada do treinamento de força na periodização de atletas de corrida representa uma estratégia eficaz para a melhora da economia de corrida, aspecto fundamental para o desempenho em provas de média e longa distância. Evidências apontam que esse tipo de treinamento promove adaptações fisiológicas, biomecânicas e neuromusculares, como maior rigidez músculo-tendínea, recrutamento eficiente de unidades motoras e melhor aproveitamento energético.

Além disso, protocolos com duração entre 8 e 12 semanas, aplicados de duas a três vezes semanais, têm se mostrado suficientes para gerar efeitos significativos sem comprometer a capacidade aeróbia. Isso reforça a importância da integração entre o treinamento de força e o treinamento de endurance, não apenas para ganhos de performance, mas também como estratégia preventiva contra lesões relacionadas ao impacto da corrida.

Apesar dos avanços, a literatura ainda carece de estudos de longa duração, bem como de investigações que contemplem as diferenças de gênero e protocolos individualizados. Tais lacunas representam oportunidades para pesquisas futuras mais direcionadas e contextualizadas às características específicas dos corredores.

REFERÊNCIAS

- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, C.; SANTOS-CONCEJERO, J.; GRIVAS, G. V. Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. **Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 30, n. 8, p. 2361-2368, 2016. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001316.
- BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors. **Sports Medicine – Open**, v. 1, n. 1, p. 8, 2015. DOI: 10.1186/s40798-015-0007-y.
- CONLEY, D. L.; KRAHENBUHL, G. S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 12, n. 5, p. 357-360, 1980.
- GOLDSPINK, G. Malleability of the motor system: a comparative approach. **Journal of Experimental Biology**, v. 115, p. 375-391, mar. 1985. DOI: 10.1242/jeb.115.1.375.
- HUNTER, G.R.; McCARTHY, J.P.; CARTER, S.J. et al. Muscle fiber type, Achilles tendon length, potentiation, and running economy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 5, p. 1302-1309, 2015. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000760.
- LLANOS-LAGOS, C.; RAMIREZ-CAMPILLO, R.; MORAN, J. et al. Effect of strength training programs in middle- and long-distance runners' economy at different running speeds: a systematic review with meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 54, n. 4, p. 895-932, 2024. DOI: 10.1007/s40279-023-01978-y.
- MOORE, I. S. Is there an economical running technique? A review of modifiable biomechanical factors affecting running economy. **Sports Medicine**, v. 46, n. 6, p. 793-807, jun. 2016. DOI: 10.1007/s40279-016-0474-4.
- SAUNDERS, P.U.; PYNE, D.B.; TELFORD, R.D. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465-485, 2004. DOI: 10.2165/00007256-200434070-00005.
- THOMAS, D.Q.; FERNHALL, B.; GRANAT, H. Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 2, p. 162-167, 1999.
- VAN HOOREN, B.; LENNARTZ, R.; COX, M. et al. Differences in running technique between runners with better and poorer running economy and lower and higher milage: an artificial neural network approach. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 34, n. 3, p. e14605, 2024. DOI: 10.1111/sms.14605.
- WEISS, A.; ALACK, K.; KLATT, S. et al. Sustained endurance training leads to metabolomic adaptation. **Metabolites**, v. 12, n. 7, p. 658, 2022. DOI: 10.3390/metabo12070658.

WILLIAMS, K. R. The relationship between mechanical and physiological energy estimates. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 17, n. 3, p. 317-325, jun. 1985.