

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA UFJF/UFV**

Yuri de Almeida Costa Campos

**Evidências atuais e perspectivas futuras sobre a distribuição da intensidade do
treinamento, volume e prescrição do exercício para corredores de média e longa
distância**

JUIZ DE FORA

2022

Yuri de Almeida Costa Campos

Evidências atuais e perspectivas futuras sobre a distribuição da intensidade do treinamento, volume e prescrição do exercício para corredores de média e longa distância

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física, área de concentração Exercício e Esporte, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna

JUIZ DE FORA

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Almeida Costa Campos, Yuri.

Evidências atuais e perspectivas futuras sobre a distribuição da intensidade do treinamento, volume e prescrição do exercício para corredores de média e longa distância / Yuri de Almeida Costa Campos. -- 2022.

132 p. : il.

Orientador: Jeferson Macedo Vianna

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Educação Física. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2022.

1. Treinamento polarizado. 2. Treinamento piramidal. 3. Treinamento no limiar. 4. Limiar anaeróbio. 5. Corredores de endurance. I. Macedo Vianna, Jeferson, orient. II. Título.

Yuri de Almeida Costa Campos

Evidências atuais e perspectivas futuras sobre a distribuição da intensidade do treinamento, volume e prescrição do exercício para corredores de média e longa distância

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física. Área de concentração: Exercício e Esporte

Aprovada em 12 de janeiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna – Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Raúl Domínguez Herrera

Universidad de Sevilla

Prof. Dr. Jorge Roberto Perrout de Lima

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Arturo Casado Alda

Universidad Rey Juan Carlos

Prof. Dr. Daniel Alexandre Boullosa Álvarez

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Juiz de Fora, 06/12/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Jeferson Macedo Vianna, Professor(a)**, em 12/01/2022, às 18:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Roberto Perrou de Lima, Professor(a)**, em 19/01/2022, às 07:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raúl Domínguez Herrera, Usuário Externo**, em 07/02/2022, às 08:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Alexandre Boullosa Álvarez, Usuário Externo**, em 07/02/2022, às 09:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arturo Casado Alda, Usuário Externo**, em 14/02/2022, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0604249** e o código CRC **9F8BD0A1**.

Dedico este trabalho a todos aqueles que de alguma forma se fizeram bússola para que eu pudesse me guiar pelos mares da vida. Vocês foram como faróis nas noites de escuridão e me fizeram encontrar uma razão para seguir navegando.

AGRADECIMENTOS

Ao Criador por ter me concedido sabedoria para criar causas e condições que me trouxeram ao final desta jornada. Sinto tua presença em cada detalhe, revigorando minha fé e me mostrando que existe um tempo certo para cada coisa debaixo do sol. O esperar em Cristo tornou meu fardo mais leve, e me fez mais forte e confiante em seu propósito.

Aos meus pais queridos Reinado e Cláudia por terem sido meus pilares e me presentarem com valores que moldaram minha personalidade e meu caráter ao longo desta trajetória. O final desse processo também consagra o brilhantismo de vocês como pais. Sinto-me cada dia mais agradecido e orgulhoso dos pais que tenho.

Ao meu orientador Jeferson Vianna por ter aberto as portas do programa de pós-graduação novamente para mim. “Chefe”, durante esses últimos seis anos você me ofereceu a oportunidade de mergulhar em projetos que realmente fizessem sentido para mim, ao passo que me proporcionou a liberdade para trabalhar com todos os pesquisadores que encontrei ao longo desta trajetória.

El universo ha reverberado y me ha brindado la oportunidad de trabajar con investigadores que, además de buenas personas, son magníficos profesionales. Raúl y Arturo, en los últimos dos años me habéis ayudado y guiado como auténticos tutores. Si hoy estoy aquí con esta tesis lista es por vosotros que nunca me ha negado conocimiento y ha asumido el rol de tutorarme durante todo el proceso con compromiso y solicitud. ¡Estoy muy orgulloso de formar parte de este equipo! Como siempre dices Raúl, seguimos la filosofía del “Cholo” Simeone, vamos partido a partido, incluso minuto a minuto, hasta que triunfemos.

Ao Sandro por fazer parte de toda minha trajetória acadêmica ao longo desses últimos 12 anos. Acredito que o primeiro passo para formar pesquisadores de qualidade e compromissados com o processo é a partir da consolidação de grupos de pesquisa que trabalhem principalmente com alunos da graduação em projetos de iniciação científica. Se hoje estou aqui, é porque pude beber dessa fonte durante minha graduação na Universidade Federal de Lavras.

Ao “Mestrão” Jefferson Novaes por todos os momentos de descontração que faziam o peso das horas no laboratório passarem com rapidez e leveza. Obrigado por ter me “resgatado” durante sua passagem pela Universidade Federal de Juiz de Fora, e ter me motivado a desenvolver parcerias e estar sempre publicando.

Aos meus companheiros de LabFor, especialmente Dílson Borges sempre com seus comentários ponderados, Leandro Sant’ Anna sempre prestativo e atencioso, e o “filhão” João Guilherme, sem dúvidas, o melhor parceiro com que já trabalhei.

Aos meus amigos do GEPREN, Miller Guimarães, Gaspar Silva e Hiago Souza pelo companheirismo e fidelidade de sempre.

Aos meus amigos e familiares, por terem se feito presentes nos momentos de maior necessidade com palavras de incentivo e apoio após os desabafos. O amadurecimento me fez reconhecer a riqueza de ter poucas, mas boas amizades. Ao longo dos anos, alguns laços se perderam, porém, outros, dos que sempre acreditei, permaneceram e se tornaram ainda mais profundos.

Por fim, aos bons professores que tive durante a graduação na Universidade Federal de Lavras e durante a pós-graduação na Universidade Federal de Juiz de Fora. Saibam que carrego um pouco de cada um de vocês em mim que representam uma pequena, mas representativa parcela dos que lutam em prol de uma educação pública de qualidade com imparcialidade, honestidade e solicitude para com os alunos.

“Em todas as horas, preocupa-te resolutamente [...] em fazer o que tens nas mãos com pontual e não fingida gravidade, com amor, liberdade e justiça, e procura tempo livre para libertar-te de todas as demais distrações. E conseguirás teu propósito se executas cada ação como se fosse a última da tua vida, desprovida de toda irreflexão, de toda aversão apaixonada que tenha te afastado do domínio da razão, de toda hipocrisia, egoísmo e despeito no que se refere ao destino.” (MARCO AURÉLIO)

RESUMO

A distribuição da intensidade do treinamento (DIT) é considerada um fator chave para otimizar o desempenho de *endurance*. Para prescrever e quantificar o treinamento de *endurance*, tipicamente, utiliza-se um teste de exercício graduado para determinar a velocidade de corrida e/ou a frequência cardíaca associada as referências fisiológicas como o 1º limiar de lactato/ventilatório (LL₁/LV₁) e o 2º limiar de lactato/ventilatório (LL₂/LV₂). Adicionalmente, outros métodos de prescrição e quantificação derivados da percepção de esforço da sessão (PSE-sessão) e do ritmo de corrida sem a necessidade de um teste de exercício graduado também podem ser utilizados. Estudos recentes mostraram que a quantificação do treinamento através de métodos subjetivos e objetivos podem afetar significativamente o cálculo da DIT, dificultando o estabelecimento de um modelo de quantificação baseado na PSE-sessão. Embora o teste de exercício graduado associado aos limiares fisiológicos seja visto como mais confiáveis, seu uso exige equipamentos sofisticados inviabilizando sua utilização durante o treinamento e/ou competições. Nessa linha, uma provável associação entre os limiares fisiológicos e a percepção subjetiva de esforço (PSE) durante um teste de exercício graduado poderia ajudar os treinadores a prescreverem o treinamento para corredores de *endurance* através de uma ferramenta não invasiva de baixo custo e complexidade. Três zonas de intensidade de treinamento (ou seja, zona 1 [$<2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $<LL_1$; $<LV_1$; PSE 1-4], zona 2 [entre $2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ e $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; LL_1 e LL_2 ; LV_1 e LV_2 ; PSE 5-6], e zona 3 [$>4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $>LL_2$; $>LV_2$; PSE 7-10]) são utilizadas para distribuir o volume total de treinamento. Corredores de média e longa distância utilizam três tipos principais de DIT: 1) DIT polarizada com 75-80% do volume total de treinamento na zona 1, 0-5% na zona 2 e 15-20% nas zonas; 2) DIT piramidal com 80% do volume total de treinamento na zona 1 e 20% na zona 2; e 3) DIT no limiar com $> 20\%$ do volume total de treinamento na zona 2. Devido ao crescimento no número de pesquisas relacionadas à DIT em corredores de média e longa distância nos últimos 20 anos, há uma necessidade de resumir e sistematizar as evidências disponíveis na literatura específica. Dessa forma, o objetivo primário desta tese foi realizar uma revisão sistemática (estudo 1) “Distribuição da intensidade do treinamento em corredores de média e longa distância: Uma revisão sistemática”, e baseado em seus resultados, como objetivo secundário e terciário realizar um estudo experimental (estudo 2) “Análise da distribuição da intensidade do treinamento e desempenho no contrarrelógio em corredores de longa distância: Uma comparação entre métodos de quantificação objetivo vs. subjetivo”, e outro de efeito agudo (estudo 3) “Predição do limiar anaeróbico utilizando a escala OMNI-Walk/Run em corredores de longa distância: um

estudo preliminar”, respectivamente. Os resultados da revisão sistemática (estudo 1) demonstraram que o método de quantificação (ou seja, PSE-sessão, lactato sanguíneo, frequência cardíaca, velocidade de corrida e ritmo de corrida) influenciam substancialmente o cálculo da DIT. Os modelos polarizado e piramidal produzem o melhor desempenho de endurance em comparação com o modelo no limiar. Portanto, parece que uma combinação de alto volume em baixa intensidade ($\geq 70\%$ do volume total de treinamento) e baixo volume em alta intensidade ($\leq 30\%$) é necessário para melhorar o desempenho de endurance. Além disso, monitorar o treinamento através de múltiplos mecanismos utilizando métodos subjetivos e objetivos podem ajudar os treinadores a tomar melhores decisões. No que se refere ao estudo experimental (estudo 2), os resultados mostraram que a velocidade de corrida produziu uma DIT polarizada (zona 1: $78,09 \pm 2,92\%$, zona 2: $4,97 \pm 1,97\%$, zona 3: $16,71 \pm 2,37\%$), enquanto a PSE-sessão resultou em uma DIT de alta intensidade (zona 1: $31,92 \pm 18,20\%$, zona 2: $19,29 \pm 14,63\%$, zona 3: $48,74 \pm 18,08\%$). A velocidade de corrida também demonstrou maior tempo total de treinamento gasto na zona 1 em comparação com a PSE-sessão, enquanto o oposto foi verificado para a PSE-sessão quando comparada a velocidade de corrida nas zonas 2 e 3 ($p < 0,001$). Uma melhora significativa no desempenho foi observada após uma DIT polarizada de 8 semanas [Pré: 2504 ± 164 vs. Pós: 2425 ± 135 seg ($p < 0,001$)]. Os resultados do estudo de efeito agudo (estudo 3) não demonstraram diferença significativa na velocidade de corrida em que o limiar de lactato determinado pelo método $D_{\text{máx}}$ ($LLD_{\text{máx}}$) [$13,53 \pm 0,96 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$] e o limiar da percepção subjetiva de esforço determinado pelo método $D_{\text{máx}}$ ($LPSED_{\text{máx}}$) [$13,47 \pm 1,05 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$] foram encontrados ($p = 0,664$). Adicionalmente, ambos os métodos apresentaram uma forte correlação ($r = 0,91$) e concordância através da análise do gráfico de Bland-Altman.

Palavras-chave: Treinamento polarizado. Treinamento piramidal. Treinamento no limiar. Limiar anaeróbio. Corredores de *endurance*.

ABSTRACT

Training-intensity distribution (TID) is considered a key factor to optimize endurance performance. To prescribe and quantify endurance training, a graded exercise test is typically used to determine running speed and/or heart rate associated with physiological benchmarks such as 1st lactate/ventilatory threshold (LT₁/VT₁) and 2nd lactate/ventilatory threshold (LT₂/VT₂). Additionally, other methods of prescription and quantification derived from the session-rating of perceived exertion (s-RPE) and race pace without the need for a graded exercise test can also be used. Recent studies have shown that training quantification through subjective and objective methods may significantly affect TID calculation, making it difficult to establish a quantification model based on s-RPE. Although graded exercise test associated with physiological thresholds is seen as more reliable, its use requires sophisticated equipment, making its use unfeasible during training and/or competitions. In this line, a probable association between physiological thresholds and perceived exertion (RPE) during a graded exercise test could help coaches prescribe training for endurance runners through a noninvasive tool of low-cost and low-complexity. Three training-intensity zones (i.e., zone 1 [$<2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $<\text{LT}_1$; $<\text{VT}_1$; s-RPE 1-4], zone 2 [between $2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ and $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; LT_1 and LT_2 ; VT_1 and VT_2 ; s-RPE 5-6], and zone 3 [$>4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $>\text{LT}_2$; $>\text{VT}_2$; s-RPE 7-10]) are used to distribute overall training volume. Middle- and long-distance runners use three main types of TID: 1) Polarized TID with 75-80% of overall training volume in zone 1, 0-5% in zone 2 and 15-20% in zones; 2) Pyramidal TID with 80% of overall training volume in zone 1 and 20% in zone 2 and; 3) TID at threshold with $>20\%$ of overall training volume in zone 2. Due to the increase in the number of researches related to TID on middle- and long-distance runners in the last 20 years, there is a need to summarize and systematize the evidence available in specific literature. Thus, the primary objective of this thesis was performing a systematic review (study 1) "Training-intensity on middle- and long-distance runners: A systematic review", and based on its results, as a secondary and tertiary objective performing an experimental study (study 2) "Training-intensity distribution and time-trial performance in long-distance runners: A comparison between objective vs. subjective quantification methods", and an acute effect study (study 3) "Anaerobic threshold prediction using the OMNI-Walk/Run scale in long-distance runners: A preliminary study", respectively. Systematic review results (study 1) demonstrated that the quantification method (i.e., s-RPE, blood lactate, heart rate, running speed, and race pace) substantially influence TID calculation. Polarized and pyramidal models produce the best endurance performance compared to threshold model. Therefore, it seems that a combination

of high-volume at low-intensity ($\geq 70\%$ of overall training volume) and low-volume at high-intensity ($\leq 30\%$) is needed to improve endurance performance. Furthermore, monitoring training through multiple mechanisms using subjective and objective methods can help coaches make better decisions. Regarding the experimental study (study 2), the results showed that running speed yielded a polarized TID (zone 1: $78.09 \pm 2.92\%$, zone 2: $4.97 \pm 1.97\%$, zone 3: $16.71 \pm 2.37\%$), while s-RPE resulted in a high intensity TID (zone 1: $31.92 \pm 18.20\%$, zone 2: $19.29 \pm 14.63\%$, zone 3: $48.74 \pm 18.08\%$). Running speed also demonstrated greater total training time spent in zone 1 compared to s-RPE, while the opposite was verified for s-RPE when compared to running speed in zones 2 and 3 ($p < 0.001$). A significant improvement in performance was observed after an 8-week polarized TID [Pre: 2504 ± 164 vs. Post: 2425 ± 135 sec ($p < 0.001$)]. Acute effect study results (study 3) showed no significant difference in running speed in which lactate threshold determined by D_{\max} method (LTD_{\max}) [13.53 ± 0.96 km·h⁻¹] and rating of perceived exertion threshold determined by D_{\max} method ($RPETD_{\max}$) [13.47 ± 1.05 km·h⁻¹] were found ($p = 0.664$). Moreover, both methods showed a strong correlation ($r = 0.91$) and agreement through the Bland-Altman plot analysis.

Keywords: Polarized training. Pyramidal training. Threshold training. Anaerobic threshold. Endurance runners.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelos de distribuição da Intensidade do Treinamento	22
Figura 2.	Diagrama PRISMA dos artigos selecionados	30
Figura 3.	Fluxograma de registro dos participantes	69
Figura 4.	Representação esquemática do impulso médio de treinamento (TRIMP) dos participantes durante o período de treinamento de 8 semanas	70
Figura 5.	Comparação do tempo relativo gasto em cada zona de treinamento entre a velocidade de corrida e a percepção subjetiva de esforço da sessão durante o período de treinamento de 8 semanas	71
Figura 6.	Desempenho no contrarrelógio de 10 km entre o pré- e pós-treinamento	73
Figura 7.	Exemplo de determinação do limiar de lactato e limiar de percepção subjetiva de esforço pelo método $D_{\text{máx}}$	80
Figura 8.	Análise da concordância entre o $LLD_{\text{máx}}$ e o $LPSED_{\text{máx}}$	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Critérios de elegibilidade PICOS para a inclusão dos estudos na revisão sistemática	26
Tabela 2.	Critérios de qualidade usados para analisar os estudos incluídos na revisão sistemática	29
Tabela 3.	Pontuações atribuídas a cada um dos estudos para cada um dos critérios de qualidade (<i>Q</i>)	33
Tabela 4.	Análise dos principais resultados dos estudos retrospectivos incluídos nesta revisão sistemática	35
Tabela 5.	Análise dos principais resultados dos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática	40
Tabela 6.	Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática	46
Tabela 7.	Características das sessões de treinamento realizadas durante as 8 semanas de intervenção	67
Tabela 8.	Características fisiológicas e treinamento dos participantes (média \pm DP)	70
Tabela 9.	Comparação do tempo total de treinamento gasto entre as diferentes zonas ao longo do período de treinamento de 8 semanas	72
Tabela 10.	Relação dos valores médios (\pm DP) da velocidade de corrida ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) entre o $\text{LLD}_{\text{máx}}$ e o $\text{LPSED}_{\text{máx}}$	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Dióxido de carbono
DIT	Distribuição da intensidade do treinamento
EC	Economia de corrida
FC	Frequência cardíaca
FC _{máx}	Frequência cardíaca máxima
GPS	<i>Global position system</i>
IC 95%	Intervalo de confiança
[Lac]	Concentrações de lactato sanguíneo
LAn	Limiar anaeróbio
LL	Limiar de lactato
LL ₁	Primeiro limiar de lactato
LL ₂	Segundo limiar de lactato
LLD _{máx}	Limiar de lactato através do método D _{máx}
LPSED _{máx}	Limiar da percepção subjetiva de esforço através do método D _{máx}
LV ₁	Primeiro limiar ventilatório
LV ₂	Segundo limiar ventilatório
O ₂	Oxigênio
PCR	Ponto de compensação respiratória
PETCO ₂	Pressão parcial expirada de dióxido de carbono
PETO ₂	Pressão parcial expirada de oxigênio
PSE-sessão	Percepção subjetiva de esforço da sessão de treinamento
PSE	Percepção subjetiva de esforço
TE	Tamanho do efeito
TRIMP	Impulso de treinamento
VE·VO ₂ ⁻¹	Equivalente de oxigênio ventilatório
VE·CO ₂ ⁻¹	Equivalente de dióxido de carbono ventilatório
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO ₂ máx	Consumo máximo de oxigênio
VO ₂ pico	Consumo pico de oxigênio
UA	Unidade arbitrária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 ESTUDO 1 – DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO EM CORREDORES DE MÉDIA E LONGA DISTÂNCIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	25
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2.2 MÉTODOS.....	25
2.2.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE.....	25
2.2.2 FONTES DE INFORMAÇÃO.....	26
2.2.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	27
2.2.4 EXTRAÇÃO DE DADOS	27
2.2.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS	28
2.3 RESULTADOS	30
2.3.1 SELEÇÃO DE ESTUDOS	30
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS.....	31
2.3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS INCLUÍDOS	32
2.3.5 ESTUDOS RETROSPECTIVOS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO	34
2.3.6 ESTUDOS LONGITUDINAIS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO	38
2.3.7 ESTUDOS RANDOMIZADOS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO	44
2.4 DISCUSSÃO	54
2.5 CONCLUSÕES.....	63
3 ESTUDO 2 – ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO E DESEMPENHO NO CONTRARRELÓGIO EM CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO OBJETIVO VS. SUBJETIVO	64
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	64
3.2 MÉTODOS.....	64
3.2.1 PARTICIPANTES	64
3.2.2 DESENHO EXPERIMENTAL.....	65
3.2.3 TESTE LABORATORIAL PARA DETERMINAR AS ZONAS DE TREINAMENTO	65
3.2.4 DESEMPENHO NO CONTRARRELÓGIO DE 10 KM	66

3.2.5 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS SESSÕES DE TREINAMENTO DURANTE AS 8 SEMANAS DE INTERVENÇÃO	66
3.2.7 ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO	67
3.2.8 QUANTIFICAÇÃO DA CARGA DE TREINAMENTO	68
3.2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	68
3.3 RESULTADOS	69
3.4 DISCUSSÃO	73
3.5 CONCLUSÃO.....	77
4 ESTUDO 3 – PREDIÇÃO DO LIMAR ANAERÓBIO UTILIZANDO A ESCALA OMNI-WALK/RUN EM CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA: UM ESTUDO PRELIMINAR.....	78
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	78
4.2 MÉTODOS.....	78
4.2.1 PARTICIPANTES	78
4.2.2 PROCEDIMENTOS.....	79
4.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	80
4.3 RESULTADOS	81
4.4 DISCUSSÃO	82
4.5 CONCLUSÃO.....	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÕES PRÁTICAS	85
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICE A – EVIDÊNCIA CIENTÍFICA APROVADA PARA PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICO CLASSIFICADO EM ESTRATO A1	97
APÊNDICE B – EVIDÊNCIA CIENTÍFICA PUBLICADA EM PERIÓDICO CLASSIFICADO EM ESTRATO A1	124
ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISAS COM SERES HUMANOS	128
ANEXO 2 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISAS COM SERES HUMANOS	130

1 INTRODUÇÃO

O processo de treinamento em corredores de média e longa distância envolve a aplicação de cargas físicas propositadamente guiadas a partir da manipulação de variáveis como a frequência, volume e/ou intensidade de treinamento (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020). A manipulação dessas variáveis associada à estratégias de recuperação adequadas (NELSON *et al.*, 2020) podem atrasar o início da fadiga e reduzir o risco de lesões (MUJICA, 2017), evitando o desenvolvimento de *non-functional overreaching* (BELLINGER, 2020) ou *overtraining* (CADEGIANI; KATER, 2017), melhorando assim, o desempenho atlético. Com o passar dos anos, diversas pesquisas surgiram com o intuito de obter dados empíricos e, dessa forma, aprimorar os métodos e o desenho dos programas de treinamento (MANZI *et al.*, 2015). Em contrapartida, o consenso sobre o volume e intensidade ideais de treinamento para esportes de *endurance* permanece obscuro (STÖGGL; SPERLICH, 2015), sendo fruto de constantes debates entre pesquisadores e treinadores (CARNES; MAHONEY, 2019; KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018). O equilíbrio entre o volume e a intensidade é importante porque a forma como os atletas de *endurance* distribuem a intensidade do exercício ao longo de uma sessão ou período de treinamento, ou seja, a distribuição da intensidade do treinamento (DIT) é considerada como um fator chave para otimizar a *performance* em programas de treinamento voltados para os esportes de *endurance* (BOURGOIS; BOURGOIS; BOONE, 2019).

Há um consenso de que o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$), a economia de corrida (EC) e a capacidade de sustentar altas frações do $VO_{2máx}$ durante períodos prolongados de tempo, antes que o lactato comece a se acumular no sangue (ou seja, o chamado limiar de lactato), assim como a velocidade crítica estão associados aos melhores desempenhos de *endurance* (JONES *et al.*, 2021; JOYNER *et al.*, 2020). Dessa forma, qualquer melhoria nesses parâmetros pode ser alcançada utilizando cargas de treinamento específicas nas diferentes zonas de intensidade do exercício. Medidas de ancoragem submáximas determinadas através de um teste de exercício graduado a partir das análises das trocas gasosas e lactato sanguíneo têm sido utilizadas para prescrever as intensidades do exercício de *endurance* (JAMNICK *et al.*, 2020; MANN; LAMBERTS; LAMBERT, 2013). Por outro lado, para quantificar a DIT, os pesquisadores e treinadores geralmente utilizam a frequência cardíaca (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESSEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FESTA *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015;

MUÑOZ *et al.*, 2014) ou a velocidade de corrida (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 1999; KENNEALLY *et al.*, 2020; SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017) associada às referências fisiológicas, como o 1º limiar de lactato (LL₁), 2º limiar de lactato (LL₂), 1º limiar ventilatório (LV₁) e 2º limiar ventilatório (LV₂) ou ponto de compensação respiratória (PCR) determinados através de um teste de exercício graduado. Além disso, outros métodos de quantificação da DIT derivados da percepção subjetiva de esforço da sessão (PSE-sessão) (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; MANZI *et al.*, 2015; SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017), bem como o ritmo de corrida (BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010) não utilizam um teste de exercício graduado. Para as abordagens baseadas no ritmo de corrida, os treinadores comumente consideram algumas porcentagens da velocidade de corrida que os atletas utilizam para completar uma determinada distância (BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010) ou testes específicos como a potência crítica (SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017) para prescrever zonas de intensidade de exercício e quantificar a DIT. Enquanto a escolha dos métodos de quantificação da carga de treinamento parece ser uma opção para o treinador/atleta, estudos recentes mostraram que o método de quantificação pode afetar significativamente o cálculo da DIT, principalmente, quando os métodos objetivos e subjetivos são comparados (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; MANZI *et al.*, 2015; SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017). Essas discrepâncias dificultam o estabelecimento de um modelo de quantificação baseado na PSE-sessão que é uma ferramenta de baixo custo e alta acessibilidade para monitorar a carga de treinamento (FOSTER *et al.*, 2021). Desse modo, o estabelecimento de um comportamento típico da PSE-sessão poderia contribuir para a quantificação da DIT e auxiliar os treinadores na tomada de decisão.

Embora o teste de exercício graduado realizado em laboratório e associado as análises das trocas gasosas e lactato sanguíneo (JAMNICK *et al.*, 2020; MANN; LAMBERTS; LAMBERT, 2013) sejam muitas vezes visto como mais confiáveis (GALBRAITH; HOPKER; LELLIOTT; *et al.*, 2014), seu uso requer equipamentos sofisticados (IRVING *et al.*, 2006) aumentando a complexidade (SCHERR *et al.*, 2013) tornando-o difícil de ser utilizado durante o treinamento e/ou competição (MONNIER-BENOIT; GROSLAMBERT; ROUILLON, 2009). Seiler; Kjerland, (2006) propuseram através de suas observações laboratoriais que a PSE-sessão poderia ser utilizada como uma ferramenta para a quantificar a DIT. Entretanto, apesar de alguns estudos terem observado uma associação entre os limiares ventilatório e lactato com as escalas de percepção subjetiva de esforço (PSE) durante um teste de exercício graduado

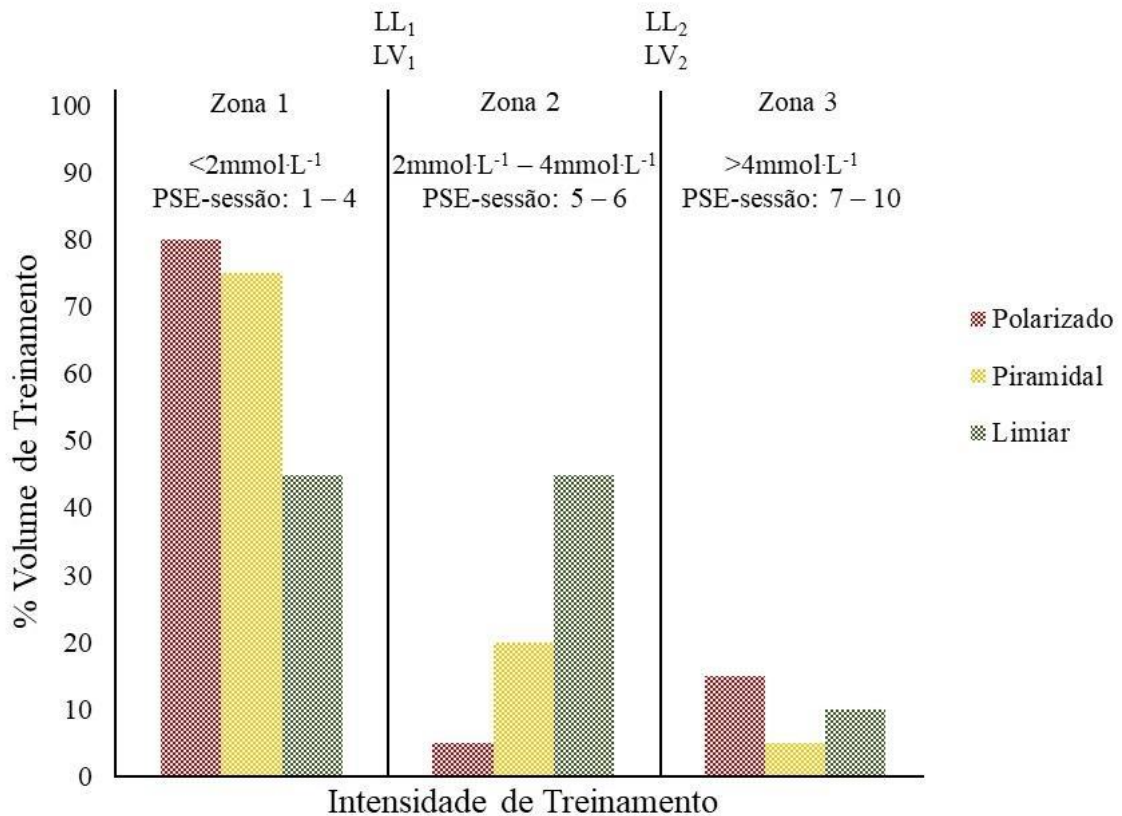
realizado em esteira ergométrica e cicloergômetro (FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014; MONNIER-BENOIT; GROSLAMBERT; ROUILLON, 2009), não há relatos de estudos que verificaram tal possibilidade em corredores de média e longa distância. Portanto, uma provável associação entre métodos objetivos e subjetivos poderia destacar o papel da PSE como uma ferramenta não invasiva de baixo custo e complexidade para prescrever intensidades de exercício para estes tipos de corredores (CAMPOS *et al.*, 2021).

Tipicamente, três zonas de intensidade do exercício com base no modelo trifásico proposto por Kindermann; Simon; Keul, (1979) e Skinner; McLellan, (1980) são utilizados para quantificar a DIT em atletas de *endurance* (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2001; BILLAT *et al.*, 1999; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FESTA *et al.*, 2020; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018), embora abordagens com duas (ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ROBINSON *et al.*, 1991), quatro (BILLAT *et al.*, 2003), cinco (TJELTA; ENOKSEN, 2010) e sete zonas (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011) também são encontradas na literatura específica. Nesse modelo trifásico, a zona 1 é caracterizada por longas sessões de treinamento em baixa intensidade [$<2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $<LL_1$; $<LV_1$ (SEILER, 2010; STÖGGL; SPERLICH, 2015; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018); equivalente a uma PSE entre 1-4 (SEILER; KJERLAND, 2006) na escala de Borg de 10 pontos quando a PSE-sessão é utilizada como método de quantificação (FOSTER *et al.*, 1996)]. Designado como treinamento no limiar, a zona 2 é caracterizada por treinamento contínuo ou intervalado em intensidade moderada [entre $2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ e $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; LL_1 e LL_2 ; LV_1 e LV_2 ou PCR (SEILER, 2010; STÖGGL; SPERLICH, 2015; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018); equivalente a uma PSE entre 5-6 (SEILER; KJERLAND, 2006) na escala de Borg de 10 pontos (FOSTER *et al.*, 1996)]. Já a zona 3 é caracterizada por sessões de treinamento intervalado de alta intensidade [$>4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $>LL_2$; $>LV_2$ ou PCR (SEILER, 2010; STÖGGL; SPERLICH, 2015; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018); equivalente a uma PSE entre 7-10 (SEILER; KJERLAND, 2006) na escala de Borg de 10 pontos (FOSTER *et al.*, 1996)].

Atualmente, a literatura reconhece a predominância de três tipos de DIT que podem ser subdivididas em modelos polarizado, piramidal e limiar (KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018; SEILER, 2010). A DIT polarizada é caracterizada por um alto volume de treinamento realizado em baixa (zona 1~ 75-80%) e alta intensidade (zona 3~ 15-20%), com pouco ou nenhum treinamento realizado no limiar (zona 2~ 0-5%) (KENNEALLY; CASADO;

SANTOS-CONCEJERO, 2018; SEILER, 2010; STÖGGL; SPERLICH, 2015). A DIT piramidal também é caracterizada por um alto volume de treinamento realizado em baixa intensidade (zona 1 ~ 80%) com proporções decrescentes realizadas no limiar e alta intensidade (zona 2 e 3 ~ 20%) (KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018; SEILER, 2010; STÖGGL; SPERLICH, 2015). Além disso, a DIT no limiar apresenta maiores volumes de treinamento realizado na zona 2 (> 20%) quando comparado aos outros modelos (KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018; SEILER, 2010). Enquanto algumas revisões reconheceram os três tipos de DIT aqui apresentados como os principais modelos (BOURGOIS; BOURGOIS; BOONE, 2019; KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018), outra revisão apresentou outras duas abordagens de treinamento, uma delas representada por um alto volume em baixa intensidade com alta proporção de treinamento realizado na zona 1 (~ 90%), além de outro modelo que apresenta uma alta proporção de treinamento em alta intensidade na zona 3 (~ 40%) associado ao treinamento em baixa intensidade e períodos recuperativos (STÖGGL; SPERLICH, 2015).

Figura 1 – Modelos de Distribuição da Intensidade do Treinamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: LL₁: primeiro limiar de lactato; LL₂: segundo limiar de lactato; LV₁: primeiro limiar ventilatório; LV₂: segundo limiar ventilatório.

Nos últimos 10 anos, algumas revisões propostas por Seiler, (2010), Stöggl; Sperlich, (2015), Hydren; Cohen, (2015), Kenneally; Casado; Santos-Concejero, (2018) e Rosenblat; Perrotta; Vicenzino, (2019) indicaram a predominância do treinamento polarizado e piramidal em diferentes esportes de *endurance*, como o remo, esqui *cross-country*, biatlo, ciclismo, patinação de velocidade e corrida. Apesar de haver um debate sobre quais modelos de DIT podem ser superiores para melhorar as adaptações e desempenho (STÖGGL; SPERLICH, 2014), há um corpo de evidências que sustentam o uso dos modelos polarizado e piramidal caracterizado por um alto volume de treinamento realizado em baixa intensidade associado a um baixo volume de treinamento realizado no limiar e alta intensidade em corredores de média e longa distância (KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018; STÖGGL; SPERLICH, 2015). No entanto, alguns estudos recentes observaram que uma DIT piramidal com um volume moderado no limiar foi seguida por corredores de média e longa distância de classe mundial (CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020; CASADO *et al.*, 2019; KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018).

Embora a ciência do treinamento para corredores de média e longa distância tenha caminhado para encontrar um “modelo ideal de DIT”, é possível que todos os modelos atualmente utilizados podem ser prescritos em momentos específicos de acordo com o período da temporada esportiva, nível de treinamento, bem como a distância alvo competitiva (ou seja, 800 m à maratona) desses corredores. Além disso, uma vez que a maioria dos treinadores não dispõem de equipamentos sofisticados e de alto custo, justifica-se a utilização de ferramentas práticas como a PSE para avaliar e prescrever o treinamento de *endurance*, assim como a PSE-sessão para quantificar a DIT devido à sua abordagem psicofisiológica integrativa. Desse modo, o entendimento global desses fatores poderá fornecer evidências científicas e contribuir com o treinador para melhores práticas.

Devido ao crescimento contínuo de pesquisas relacionadas a DIT em corredores de média e longa distância nos últimos 20 anos, há uma necessidade de resumir e sistematizar as evidências disponíveis (CHALMERS; HEDGES; COOPER, 2002; HIGGINS; GREEN, 2008; MEERPOHL *et al.*, 2012) para direcionar novas pesquisas e, simultaneamente, ajudar o treinador na tomada de decisão. Dessa forma, o objetivo desta tese foi realizar primeiramente uma revisão sistemática intitulada “Distribuição da intensidade do treinamento em corredores de média e longa distância: Uma revisão sistemática”. Como um dos desfechos principais de uma revisão sistemática é identificar as preocupações metodológicas que podem ser utilizadas para melhorar o entendimento futuro sobre um determinado tópico (EAGLY; WOOD, 1994), o objetivo secundário desta tese foi realizar um estudo experimental baseado nos resultados da

revisão sistemática intitulado “Análise da distribuição da intensidade do treinamento e desempenho no contrarrelógio em corredores de longa distância: Uma comparação entre métodos de quantificação objetivo vs. subjetivo”. Adicionalmente, como objetivo terciário foi proposto um estudo de efeito agudo intitulado “Predição do limiar anaeróbio utilizando a escala OMNI-*Walk/Run* em corredores de longa distância: Um estudo preliminar”.

2 ESTUDO 1 – DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO EM CORREDORES DE MÉDIA E LONGA DISTÂNCIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Este artigo passou pelo processo de revisão por pares e está publicado no *International Journal of Sports Medicine* (Impact Factor 2020: 3.118 – Estrato A1 Qualis/CAPES). CAMPOS, Y.; CASADO, A.; VIEIRA, J. G.; GUIMARÃES, M. *et al.* Training-intensity distribution on middle- and long-distance runners: A systematic review. **International Journal of Sports Medicine**, 2021.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar os diferentes modelos de distribuição da intensidade do treinamento (ou seja, polarizado, piramidal e limiar) utilizados por corredores de média e longa distância de nível recreacional, bem treinado e altamente treinado descritos nos estudos retrospectivos, longitudinais e randomizados.
- II. Comparar os efeitos dos diferentes modelos de distribuição da intensidade do treinamento nos parâmetros laboratoriais e desempenho de corrida nos estudos longitudinais e randomizados.
- III. Determinar se a utilização de diferentes métodos de quantificação (ou seja, objetivos e subjetivos) podem modificar o modelo de distribuição da intensidade do treinamento calculado.

2.2 MÉTODOS

A presente revisão sistemática foi conduzida seguindo as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) (LIBERATI *et al.*, 2009).

2.2.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

A tabela 1 mostra os critérios de elegibilidade para inclusão dos estudos nesta revisão sistemática. Apenas artigos publicados em inglês, português ou espanhol foram incluídos no presente estudo. Nenhum filtro foi aplicado na pesquisa. Os estudos foram incluídos de acordo

com os seguintes critérios de inclusão: *Participants, Intervention, Comparator, Outcomes, and Study design* (PICOS) (BROWN *et al.*, 2006).

Tabela 1 – Critérios de elegibilidade PICOS para a inclusão dos estudos na revisão sistemática

Parâmetros	Critérios de Inclusão
<i>Participants</i>	Estudos que incluíram uma amostra formada por homens e/ou mulheres corredores de média e longa distância de nível recreacional, bem treinado ou altamente treinado
<i>Intervention</i>	Estudos que incluíram uma análise das distribuições da intensidade do treinamento (ou seja, DIT polarizada, DIT piramidal e DIT no limiar), assim como o volume de treinamento
<i>Comparator</i>	Estudos que informaram sobre o tempo ou a distância de treinamento realizado nas diferentes zonas de intensidade do exercício e/ou analisaram os efeitos das diferentes distribuições da intensidade do treinamento ou uma comparação entre os diferentes modelos de distribuição do treinamento sobre o desempenho e os parâmetros laboratoriais (VO ₂ máx, VO ₂ pico, LV ₁ , LV ₂ , LL ₁ , LL ₂ , PCR, FC, PSE e EC)
<i>Outcomes</i>	Estudos que incluíram na seção de resultados as zonas de intensidade do exercício e/ou os efeitos de uma ou várias distribuições da intensidade do treinamento no desempenho do contrarrelógio e/ou parâmetros laboratoriais
<i>Study design</i>	Artigos que incluíram estudos retrospectivos, longitudinais e randomizados. Dissertações, teses, resumos de conferências, capítulos de livros, artigos publicados sem revisão por pares, revisões narrativas, revisões convidadas, revisões sistemáticas e meta-análises não foram incluídas

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: FC: frequência cardíaca; LL₁: primeiro limiar de lactato; LL₂: segundo limiar de lactato; PCR: ponto de compensação respiratória; EC: economia de corrida; PSE: percepção subjetiva de esforço; LV₁: primeiro limiar ventilatório; LV₂: segundo limiar ventilatório; VO₂máx: consumo máximo de oxigênio; VO₂pico: pico do consumo de oxigênio.

2.2.2 FONTES DE INFORMAÇÃO

Uma busca sistemática no qual todos os artigos publicados na literatura até o dia 15 de junho de 2021 foram revisados, usando os seguintes banco de dados: *PubMed, Scopus e Web of Science*.

2.2.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de busca na literatura utilizou as seguintes palavras-chave combinadas com os operadores booleanos: *running AND (“training-intensity distribution” OR “polarized training” OR “pyramidal training” OR “threshold training”)*. Os resultados da pesquisa foram coletados usando o *software* EndNote (X9, Thomson Reuters, New York, NY, EUA) com os estudos duplicados sendo excluídos automaticamente (EndNote) e manualmente (THOMPSON *et al.*, 2020). Após uma análise criteriosa dos títulos e resumos, os artigos foram selecionados para a revisão sistemática. As listas de referência de cada estudo selecionado foram analisadas manualmente para identificar estudos potencialmente relevantes (THOMPSON *et al.*, 2020). Outros estudos também foram pesquisados manualmente no *google scholar* a partir dos estudos selecionados por meio da ferramenta "citado por". Todos os procedimentos descritos acima foram realizados de forma independente por dois pesquisadores (Y.C. e R.D.). Caso houvesse discordância entre os dois pesquisadores, os resultados discrepantes foram avaliados por outro pesquisador (J.G.V.).

2.2.4 EXTRAÇÃO DE DADOS

Usando *datasheets* predefinidas, dois pesquisadores (Y.C. e R.D.) extraíram os dados de cada estudo de forma independente. Esses pesquisadores discutiram e resolveram por consenso qualquer potencial discrepância. Para os estudos retrospectivos, os dados foram compilados de acordo com as seguintes informações: referência, informações relacionadas à amostra (características dos participantes e tamanho da amostra), o objetivo do estudo, classificações das intensidades de treinamento, zonas de intensidade do treinamento, distribuições da intensidade do treinamento e o volume total de treinamento (quilômetros por semana). Nos estudos de ensaio clínico longitudinal e randomizado, as informações extraídas de cada estudo foram: referência, informações relacionadas à amostra, classificações das intensidades do treinamento, zonas de intensidade do treinamento, distribuições da intensidade do treinamento, duração (período de estudo em semanas e o número de sessões de treinamento por semana), volume total de treinamento (quilômetros por semana), *outcomes* e resultados principais. Nesses estudos, o efeito do tempo, entendido como a diferença (expressa em %), ou seja, pós-intervenção *vs.* pré-intervenção foi analisado pela seguinte equação: $(\text{valor médio pós-intervenção} - \text{valor médio pré-intervenção}) / \text{valor médio pré-intervenção} \times 100$. Além disso, os

ensaios clínicos randomizados foram especificados nos estudos que detectaram diferença estatística entre os diferentes grupos de intervenção.

2.2.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DE VIÉS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

A tabela 2 mostra os critérios de qualidade adotados para analisar os estudos incluídos nesta revisão sistemática. A avaliação da qualidade foi realizada de acordo com uma lista de verificação proposta por Marocolo *et al.*, (2019), em que os pesquisadores adaptaram dos estudos de Downs; Black (1998) e Van Velzen *et al.*, (2006). Durante o processo de avaliação do artigo, havia três possíveis pontuações (Sim= 1 ponto, Não claro= 0,5 pontos, Não= 0 pontos) para cada item da lista de verificação (tabela 1) com pontuação máxima de 15 pontos. A qualidade geral de cada estudo foi realizada a partir da soma da pontuação dos 15 critérios. Dois pesquisadores avaliaram os estudos independentemente (Y.C. e R.D.), e se houvesse qualquer potencial discordância, a opinião de outro pesquisador foi consultada (J.G.V.).

Tabela 2 – Critérios de qualidade usados para analisar os estudos incluídos na revisão sistemática

	0	0.5	1
Reportamento	Não	Não claro	Sim
1. A hipótese/objetivo do estudo está claramente descrita?	Não	Não claro	Sim
2. Os principais resultados a serem medidos estão claramente descritos na introdução?	Não	Não claro	Sim
3. As características dos sujeitos incluídos no estudo estão claramente descritas?	Não	Não claro	Sim
4. As intervenções de interesse estão claramente descritas?	Não	Não claro	Sim
5. As principais conclusões do estudo estão claramente descritas?	Não	Não claro	Sim
6. O estudo fornece estimativas da variabilidade aleatória dos dados para os resultados principais?	Não	Não claro	Sim
7. Os instrumentos de teste eram confiáveis?	Não	Não claro	Sim
8. A duração do acompanhamento foi suficientemente descrita e consistente no estudo?	Não	Não claro	Sim
9. Número de participantes incluídos nas descobertas do estudo	< 5	6-15	> 16
Análise e apresentação			
10. Os valores reais de probabilidade foram relatados (por exemplo, 0,035 em vez de <0,05) para os resultados principais, exceto, onde o valor de probabilidade é inferior a 0,001?	Não	Não claro	Sim
11. Houve uma declaração descrevendo ou referenciando adequadamente todos os procedimentos estatísticos usados?	Não	Não claro	Sim
12. As análises estatísticas utilizadas foram adequadas?	Não	Não claro	Sim
13. A apresentação dos resultados foi satisfatória?	Não	Não claro	Sim
14. Foram dados os intervalos de confiança para os resultados principais?	Não	Não claro	Sim
15. A conclusão tirada da análise estatística foi justificada?	Não	Não claro	Sim

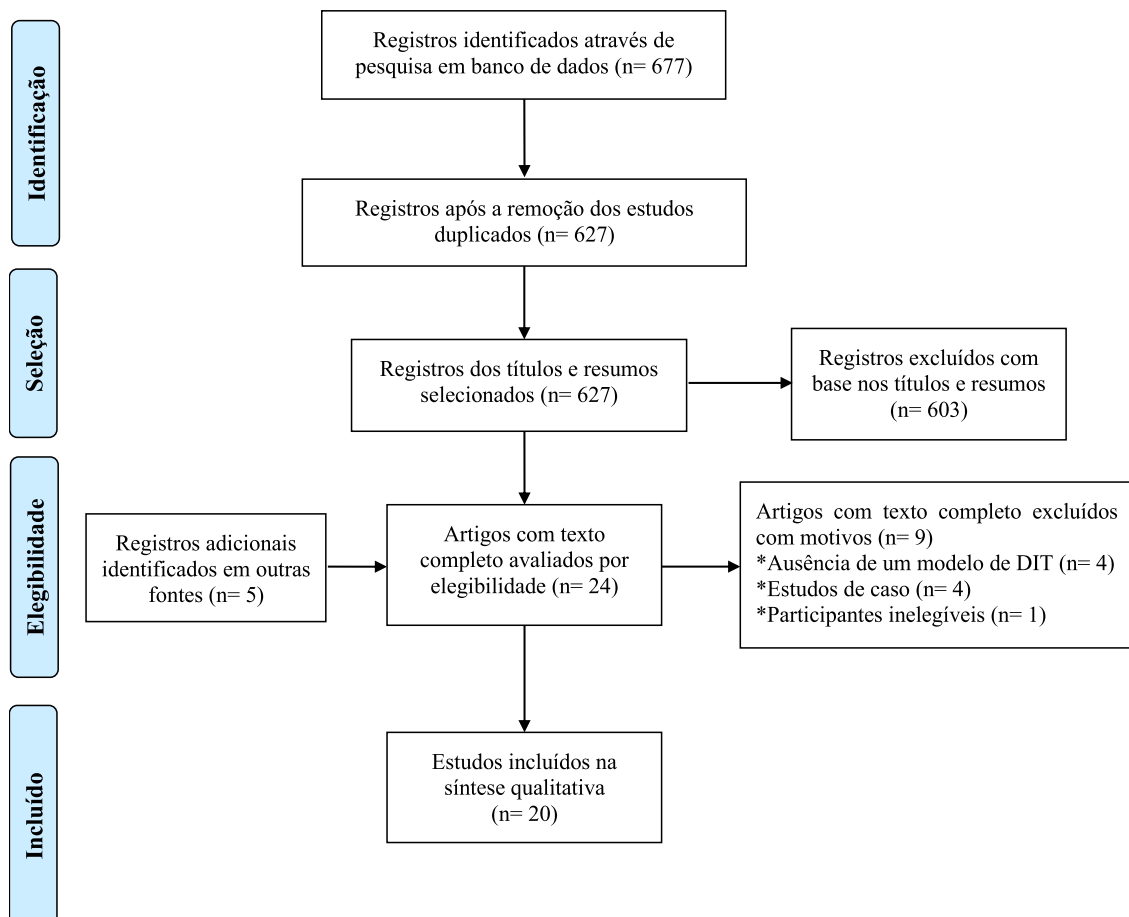
Fonte: Adaptado de Marocolo *et al.*, (2019).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 SELEÇÃO DE ESTUDOS

A Figura 1 representa o processo de seleção de artigos. Um total de 677 estudos foram encontrados nas bases de dados. Após a eliminação dos artigos duplicados ($n=50$) e dos estudos não relacionados ao tema ($n=603$), 24 artigos foram identificados para a revisão. Outros ($n=5$) foram encontrados por meio das listas de referências ou pesquisados no *google scholar* a partir da ferramenta “citado por” dos estudos selecionados e, devido à sua relevância, também foram incluídos na revisão. 29 artigos foram considerados para a presente revisão. Após a realização dos critérios de elegibilidade, nove artigos foram excluídos (quatro estudos de caso, um estudo que envolveu atletas de outras modalidades esportivas e corredores, e quatro estudos em que não foi possível identificar um modelo de distribuição do treinamento). Por fim, 20 artigos com texto completo atenderam a todos os critérios de inclusão e foram incluídos para a revisão sistemática.

Figura 2 – Fluxograma de seleção dos estudos.



Fonte: adaptado de Liberati *et al.*, (2009).

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

Os 20 artigos selecionados para a revisão sistemática contaram com 366 sujeitos. Desses, 71 eram corredores de média e longa distância altamente treinados de nível internacional (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010), 84 eram corredores de média e longa distância bem treinados (BILLAT *et al.*, 1999; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FARRELL *et al.*, 2019; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014) e 211 eram corredores de média e longa distância recreacionalmente treinados (CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; FESTA *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018). Em quatro estudos (correspondendo a um tamanho amostral de 80 indivíduos), o sexo dos participantes não foi especificado (CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014), enquanto os 286 indivíduos dos outros estudos 210 (73,6%) eram do sexo masculino e 76 (26,4%) eram do sexo feminino (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; BILLAT *et al.*, 1999; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FARRELL *et al.*, 2019; FESTA *et al.*, 2020; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014; TJELTA; ENOKSEN, 2010; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018).

O tempo gasto em cada zona de intensidade do exercício quantificado através da frequência cardíaca (FC) foi a variável mais utilizada e presente isoladamente em dez estudos (CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FARRELL *et al.*, 2019; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014). Por outro lado, quatro estudos incluíram além da FC, a PSE-sessão (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; MANZI *et al.*, 2015; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018) e a velocidade de corrida

(BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014) para quantificar as zonas de intensidade do exercício. Em um total de três estudos, as zonas de intensidade do exercício foram classificadas através do ritmo de corrida (BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; BILLAT *et al.*, 1999). Outros dois estudos quantificaram as zonas de intensidade do exercício pelo ritmo de corrida, acúmulo de lactato sanguíneo e porcentagem da frequência cardíaca máxima (% FC_{máx}) (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Somente um estudo utilizou o ritmo de corrida e o acúmulo de lactato sanguíneo para quantificar as zonas de intensidade do exercício (KENNEALLY *et al.*, 2020).

Em relação às diferentes zonas de intensidade do exercício, 17 estudos incluíram 3 zonas de intensidade de exercício (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2001; BILLAT *et al.*, 1999; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FARRELL *et al.*, 2019; FESTA *et al.*, 2020; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018), enquanto outros estudos incluíram quatro (BILLAT *et al.*, 2003), cinco (TJELTA; ENOKSEN, 2010) ou sete zonas (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011). Com relação ao tipo de estudo, quatro estudos retrospectivos (BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010), seis estudos longitudinais (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FARRELL *et al.*, 2019; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015) e dez estudos randomizados (BILLAT *et al.*, 1999; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018) foram encontrados.

2.3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

A tabela 3 mostra os escores médios dos estudos analisados de acordo com os critérios de qualidade. Todos os estudos alcançaram o padrão exigido para serem considerados um baixo risco de viés (pontuação média de qualidade = $13,3 \pm 1,3$ [88,5%]) (MAROCOLO *et al.*, 2019).

Tabela 3 – Pontuações atribuídas a cada um dos estudos para cada um dos critérios de qualidade (Q).

Referências	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Score	% do máx
Billat <i>et al.</i> , (1999)	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0	1	13,5	90,0
Billat <i>et al.</i> , (2001)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93,3
Billat <i>et al.</i> , (2003)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13,5	90,0
Esteve-Lanao <i>et al.</i> , (2005)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	13,5	90,0
Esteve-Lanao <i>et al.</i> , (2007)	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	14,5	96,6
Tjelta; Enoksen, (2010)	0,5	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	10,5	70,0
Enoksen; Tjelta; Tjelta, (2011)	0,5	1	0	1	1	1	1	1	0,5	0	1	1	1	0	1	11	73,3
Enoksen; Shalfawi; Tønnessen, (2011)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13,5	90,0
Clemente Suárez; González-Rave (2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	12	80,0
Galbraith <i>et al.</i> , (2014)	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0	1	11,5	76,6
Muñoz <i>et al.</i> , (2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
Manzi <i>et al.</i> , (2015)	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,5	14	93,3
Clemente Suárez; Dalamitros; Nikolaidis, (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	0	1	13,5	90,0
Zinner; Schäfer; Sperlich, (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
Farrell <i>et al.</i> , (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93,3
Carnes; Mahoney, (2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93,3
Bellinger; Arnold; Minahan, (2020)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14,5	96,6
Festa <i>et al.</i> , (2020)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	12,5	83,3
Düking <i>et al.</i> , (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0	1	13,5	90,0
Kenneally <i>et al.</i> , (2020)	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0	1	0	1	0	1	11	73,3

Fonte: Adaptado de Marocolo *et al.*, (2019).

2.3.5 ESTUDOS RETROSPECTIVOS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO

A tabela 4 mostra a análise dos principais resultados encontrados nos estudos retrospectivos incluídos nesta revisão sistemática. Cinco estudos retrospectivos objetivaram descrever a DIT em corredores de média e longa distância altamente treinados de nível nacional ou internacional e informaram a presença dos modelos polarizado (BILLAT *et al.*, 2001) e piramidal (BILLAT *et al.*, 2003; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Independentemente das distâncias de corrida (1500 m até a maratona), todos os estudos relataram que os maiores volumes de treinamento foram realizados em baixa intensidade (ou seja, zona 1) (BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Em três desses estudos, uma proporção maior de treinamento na intensidade do limiar (ou seja, zona 2) foi realizada em comparação com o treinamento de alta intensidade (ou seja, zona 3, 4, 5 e 7) (BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011).

Tabela 4 – Análise dos principais resultados dos estudos retrospectivos incluídos nesta revisão sistemática.

Referências	Características dos Sujeitos	Objetivo	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade de treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	
Billat <i>et al.</i> , (2001)	Maratonista franceses (n=9) e portugueses (n=11) do sexo masculino e feminino VO ₂ máx: 69,8 ± 11,0 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (masculino) (n=10) – 62,6 ± 4,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (feminino) (n=10)	Comparar as características físicas e de treinamento dos corredores de maratona de primeira classe (n=10) e alto nível (n=10)	Ritmo da maratona	Z1: <ritmo da maratona Z2: =ritmo da maratona Z3: >ritmo da maratona	Z1: 78% Z2: 4% Z3: 18%	Maratonistas de primeira classe (masculino): 206 ± 26 Maratonistas de primeira classe (feminino): 166 ± 11	Maratonistas de alto nível (masculino): 168 ± 20 Maratonistas de alto nível (feminino): 150 ± 17
Billat <i>et al.</i> , (2003)	Corredores quenianos do sexo masculino (n=13) e feminino (n=7) de nível internacional competindo em provas de <i>cross-country</i> de 10 km (n=20) VO ₂ máx: 78,4 ± 2,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (masculino) – 68,6 ± 1,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (feminino)	Comparar as características de treinamento e os perfis físicos dos melhores corredores quenianos de longa distância	Velocidade de corrida	Z1: <vLL Z2: vLL Z3: vΔ50%-vLL a vVO ₂ max Z4: ≥vVO ₂ max	Antes do campeonato queniano de <i>cross-country</i> Treinamento de alta velocidade: Z1: 83,8% Z2: 6,9% Z3: 9,3% Z4: 0,0% Treinamento de baixa velocidade: Z1: 84,2% Z2: 14,4% Z3: 1,4% Z4: 0,0%	Treinamento de alta velocidade (masculino): 158 ± 19 Treinamento de alta velocidade (feminino): 127 ± 8	Treinamento de baixa velocidade (masculino): 174 ± 17 Treinamento de baixa velocidade (feminino): *não informado

Tabela 4 – Análise dos principais resultados dos estudos retrospectivos incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Objetivo	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)
Tjelta; Enoksen, (2010)	Corredores juniores do sexo masculino de nível internacional (n=4) competindo em provas de pista entre 1500 a 5000 m e em corridas de <i>cross-country</i> entre 5 e 8 km VO ₂ máx: 72,9 ± 4,8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Descrever a distribuição da intensidade de treinamento durante o período pré-preparatório e competitivo em provas de pista e <i>cross-country</i>	Ritmo de corrida, lactato e %FC _{máx}	Z1: ritmo de corrida fácil a moderado; 0,7-2,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 62-82%FC _{máx} Z2: ritmo de corrida entre ½ maratona a maratona; 2,0-4,5 mmol·L ⁻¹ lactato; 82-92%FC _{máx} Z3: ritmo de corrida para distâncias entre 10000-3000 m; 4,5-8,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 92-97%FC _{máx} Z4: ritmo de corrida para distâncias entre 1500-400 m; acima de 8,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 97-100%FC _{máx} Z5: <i>sprint</i>	Período pré-preparatório: Z1: 78,3% Z2: 19,6% Z3: 1,3% Z4: - Z5: 0,5% Sessões de competição de pista: Z1: 81,4% Z2: 11,7% Z3: 4,8% Z4: 0,9% Z5: 1,2% Sessões de competição de <i>cross-country</i> : Z1: 78,1% Z2: 17,9% Z3: 2,9% Z4: - Z5: 1,0%	Período pré-preparatório: 132,5 ± 25,9 Sessões de competição de pista: 115,1 ± 20,4 Sessões de competição de <i>cross-country</i> : 145 ± 22,9

Tabela 4 – Análise dos principais resultados dos estudos retrospectivos incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Objetivo	Classificação das intensidades do treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento		Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	
Enoksen; Tjelta; Tjelta, (2011)	Corredores de nível internacional (n=6) do sexo masculino (n=3) e feminino (n=3) competindo em corridas de pista em distâncias entre 3000 a 10000 m, bem como meia maratona e maratona VO ₂ máx: (não específica)	Descrever a distribuição da intensidade do treinamento durante os períodos de preparação, pré-competitivo e competitivo	Ritmo de corrida, lactato e %FC _{máx}	Z1: ritmo de corrida fácil a moderado; 0,7-2,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 62-82%FC _{máx}	Corredores de maratona Período preparatório: Z1: 83,6% Z2: 12,7% Z3: - Z4: 2,5% Z5: - Z6: - Z7: 1,2%	Corredores de pista Período preparatório: Z1: 76,4% Z2: 12,5% Z3: 7,1% Z4: - Z5: 2,7% Z6: - Z7: 1,3%	Corredores de maratona Período preparatório: 186,6 ± 25.7	Corredores de pista Período preparatório: 161 ± 11
				Z2: ritmo de corrida da maratona; 2,0-3,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 82-87%FC _{máx}				
				Z3: ritmo de corrida da ½ maratona; 3,0-4,5 mmol·L ⁻¹ lactato; 87-92%FC _{máx}	Período competitivo: Z1: 79,9% Z2: 13,1% Z3: 4,1% Z4: - Z5: 1,0% Z6: 0,7% Z7: 1,3%	Período competitivo: Z1: 80,8% Z2: 6,9% Z3: 6,2% Z4: 0,3% Z5: 4,0% Z6: 0,9% Z7: 1,3%	Período competitivo: 173,3 ± 5.9	Período competitivo: 148,1 ± 16.1
				Z4: ritmo da corrida de 10000 m; 4,5-7,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 92-95%FC _{máx}				
				Z5: ritmo da corrida entre 5000-3000 m; 7,0-11,0 mmol·L ⁻¹ lactato; 95-100%FC _{máx}				
				Z6: ritmo de corrida entre 1500-800 m; >11.0 mmol·L ⁻¹ lactato; 100%FC _{máx}				
				Z7: <i>sprint</i>				

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: FC: frequência cardíaca; FC_{máx}: frequência cardíaca máxima; vLL: velocidade de corrida associada ao limiar de lactato; VO₂máx: consumo máximo de oxigênio; vVO₂máx: velocidade de corrida com consumo máximo de oxigênio; vΔ50%: velocidade de corrida intermediária entre a vLL e a vVO₂máx; Z: zona; %FC_{máx}: porcentagem da frequência cardíaca máxima.

2.3.6 ESTUDOS LONGITUDINAIS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO

A tabela 5 mostra a análise dos principais resultados encontrados nos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática. Dois estudos mostraram que a DIT piramidal melhorou o $\text{VO}_2\text{máx}$ e a velocidade crítica (GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014), bem como a velocidade de corrida entre LV_1 e o PCR, e acima do PCR (ESTEVELLANO *et al.*, 2005). Outro estudo demonstrou que o modelo reportado pelos autores como uma DIT polarizada aumentou o VO_2pico , VO_2 a $2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, velocidade de corrida a 2 e a $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ em corredores de *cross-country*, além do VO_2pico , VO_2 a $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ e velocidade de corrida a $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ em corredoras de *cross-country* (FARRELL *et al.*, 2019).

Três estudos observaram que o método de quantificação (PSE-sessão e FC) (MANZI *et al.*, 2015), (PSE-sessão, FC e velocidade de corrida) (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020) e (limiar de lactato e ritmo de corrida) (KENNEALLY *et al.*, 2020) afetaram o cálculo da DIT, e conseqüentemente, sua classificação. Em relação à zona 1, Manzi *et al.*, (2015) e Kenneally *et al.*, (2020) não encontraram diferença entre (PSE e FC) e (lactato sanguíneo e ritmo de corrida), respectivamente. Em contraste, Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) observaram menor tempo gasto na zona 1 para a PSE-sessão em comparação com a FC e a velocidade de corrida. Da mesma forma, Manzi *et al.*, (2015) e Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) verificaram maior tempo gasto na zona 2 por meio da PSE-sessão em comparação com a FC. Além disso, Kenneally *et al.*, (2020) relataram maior tempo gasto na zona 2 através do ritmo de corrida em comparação com o lactato sanguíneo, enquanto Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) observaram menor tempo gasto na zona 2 através da velocidade de corrida em comparação com a PSE-sessão. Manzi *et al.*, (2015) encontraram maior tempo gasto na zona 3 utilizando a FC em comparação ao PSE-sessão, enquanto o contrário foi observado por Bellinger; Arnold; Minahan, (2020). Os resultados de Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) também demonstraram maior tempo gasto na zona 3 por meio da PSE-sessão em comparação com a velocidade de corrida, bem como a velocidade de corrida em comparação com a FC. Além disso, Kenneally *et al.*, (2020) observaram maior tempo gasto na zona 3 através do lactato sanguíneo em comparação com o ritmo de corrida para corredores de 800 m e 1500 m, enquanto o oposto foi encontrado para corredores de 5000 e 10000 m.

Em relação à classificação da DIT, Manzi *et al.*, (2015) e Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) observaram uma DIT piramidal quando a FC foi usada como método de quantificação. Por outro lado, Manzi *et al.*, (2015) verificaram que a quantificação do treinamento por meio

da PSE-sessão exibiu uma DIT piramidal, enquanto Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) não identificou uma DIT (ou seja, 38,9%, 32,5%, 28,5% do tempo total gasto na zona 1, 2 e 3, respectivamente) utilizando este método de quantificação. No entanto, Bellinger; Arnold; Minahan, (2020) observaram que a quantificação do treinamento a partir da velocidade de corrida mostrou uma DIT polarizada. Finalmente, Kenneally *et al.*, (2020) demonstraram que a abordagem baseada no ritmo de corrida apresentou uma DIT piramidal ao longo da temporada esportiva, enquanto a abordagem através do lactato sanguíneo apresentou uma abordagem "intermediária" que estava entre uma DIT piramidal e polarizada.

Tabela 5 – Análise dos principais resultados dos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática.

Referências	Características dos sujeitos	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Esteve-Lanao <i>et al.</i> , (2005)	Corredores de nível regional e nacional (n=8) competindo em distâncias entre 1500 a 5000 m VO ₂ máx: 70,0 ± 7,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <PCR Z3: >PCR	Z1: 71% Z2: 21% Z3: 8%	24 semanas	Período preparatório: 90 a 100 Período específico: 90 Período competitivo: 40 a 50	Velocidade de corrida na Z1 (~ LV ₁), Z2 (velocidade equidistante entre LV ₁ e PCR), Z3 (~ PCR), e testes de 300 m e 20 m	Velocidade de corrida na Z2: +6,5% (p<0,05) Velocidade de corrida na Z3: +10,2% (p=0,05)
Galbraith <i>et al.</i> , (2014)	Corredores do sexo masculino de média e longa distância bem treinados (n=14) VO ₂ máx: 69,8 ± 6,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	2 parâmetros: FC nas zonas de treinamento velocidade de corrida nas zonas de treinamento	Z1: <LL ₁ Z2: >LL ₁ <OBLA Z3: >OBLA	Z1: 68,8% Z2: 17,4% Z3: 13,8%	1 ano	*Não foi possível definir	Velocidade de corrida no LV ₁ , VO ₂ a 16 km·h ⁻¹ (EC), VO ₂ máx e velocidade crítica	VO ₂ máx: +6,4% vs. <i>baseline</i> (p<0,01) Velocidade crítica: +6,5% vs. <i>baseline</i> (p=0,02)
Manzi <i>et al.</i> , (2015)	Maratonista do sexo masculino recreacionalmente treinados (n=7) VO ₂ máx: (não especificado)	2 parâmetros: FC nas zonas de treinamento (Z _{FC}) PSE (escala CR-10) nas zonas de treinamento (Z _{PSE})	Z1 _{FC} : <2mmol·L ⁻¹ Z2 _{FC} : 2-4mmol·L ⁻¹ Z3 _{FC} : >4mmol·L ⁻¹ Z1 _{PSE} : <4 Z2 _{PSE} : >4 <5,5 Z3 _{PSE} : >5,5	Z1 _{FC} : 76,3% Z2 _{FC} : 17,4% Z3 _{FC} : 6,3% Z1 _{PSE} : 69,6% Z2 _{PSE} : 27,8% Z3 _{PSE} : 2,6%	8 semanas (~4-6 dias·semana ⁻¹)	Semana 1: 50 Semana 8: 79	Comparar durante a intervenção Z _{FC} vs. Z _{PSE}	Z1 _{FC} vs. Z1 _{PSE} : p=0,07 Z2 _{FC} vs. Z2 _{PSE} : p=0,02 Z3 _{FC} vs. Z3 _{PSE} : p=0,001

Tabela 5 – Análise dos principais resultados dos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Farrell <i>et al.</i> , (2019)	Corredores bem e altamente treinados de <i>cross-country</i> membros da I Divisão da NCAA do sexo masculino (n= 8) e feminino (n= 8) VO ₂ pico: 64,8 ± 4,5 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (masculino) – 53,0 ± 4,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (feminino)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LL ₁ /2mmol·L ⁻¹ Z2: >LL ₁ /2mmol·L ⁻¹ <LL ₂ /4mmol·L ⁻¹ Z3: >LL ₂ /4mmol·L ⁻¹	Homens Z1: 86,3% Z2: 8,4% Z3: 5,3% Mulheres Z1: 79,6% Z2: 12,4% Z3: 7,6%	5 semanas	Corredores de <i>cross-country</i> : 132 ± 24,8 Corredoras de <i>cross-country</i> : 81,6 ± 7,3	VO ₂ pico, velocidade de corrida, FC e VO ₂ no LL ₁ e LL ₂	Homens: VO ₂ pico: (p=0,03; +5,5%) Velocidade de corrida no LL ₁ : +5,6% (p<0,01) Velocidade de corrida no LL ₂ : +4,3% (p=0,007) VO ₂ a 2mmol·L ⁻¹ : +7,7% (p=0,010) Mulheres: VO ₂ peak: +8,5% (p=0,09) Velocidade de corrida no LL ₂ : +2,4% (p=0,017); VO ₂ no LL ₂ : +6,4% (p=0,038)

Tabela 5 – Análise dos principais resultados dos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Bellinger; Arnold; Minahan, (2020)	Corredores de média distância do sexo masculino (n=10) e feminino (n=4) altamente treinados competindo em distâncias entre 800 a 1500 m VO ₂ máx: 72,0 ± 4,7 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (masculino) – 64,6 ± 0,5 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (feminino)	3 parâmetros: PSE (escala CR-10) nas zonas de treinamento (Z _{PSE}); FC nas zonas de treinamento (Z _{FC}); velocidade de corrida nas zonas de treinamento (Z _{VC})	Z1: <LTG (1-4 PSE) Z2: LTG-PCR (5-6 PSE) Z3: >PCR (7-10 PSE)	Z1 _{PSE} : 38,9% Z2 _{PSE} : 32,5% Z3 _{PSE} : 28,5% Z1 _{FC} : 79,0% Z2 _{FC} : 17,4% Z3 _{FC} : 3,6% Z1 _{VC} : 79,2% Z2 _{VC} : 5,5% Z3 _{VC} : 15,3%	8 semanas (6 dias·semana ⁻¹)	Corredores do sexo masculino: 80,5 ± 23,5 Corredores do sexo feminino: 68,4 ± 9,4	Comparar três métodos diferentes de quantificação da intensidade do treinamento (Z _{FC} vs. Z _{PSE} vs. Z _{VC})	Z1 _{FC} vs. Z1 _{PSE} : p<0,001 Z1 _{VC} vs. Z1 _{PSE} : p<0,001 Z2 _{PSE} vs. Z2 _{FC} : p<0,001 Z2 _{PSE} vs. Z2 _{VC} : p<0,001 Z3 _{PSE} vs. Z3 _{FC} : p<0,001 Z3 _{PSE} vs. Z3 _{VC} : p<0,001 Z3 _{VC} vs. Z3 _{FC} : p<0,001

Tabela 5 – Análise dos principais resultados dos estudos longitudinais incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Kenneally <i>et al.</i> , (2020)	Corredores de média e longa distância de classe mundial do sexo masculino (n=3) e feminino (n=4) competindo em distâncias entre (800 a 1500 m) e entre (5000 a 10000 m) VO ₂ max: 73,8 ± 2,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (masculino) – 61,4 ± 4,2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (feminino)	2 parâmetros: Limiar de lactato nas zonas de treinamento (Z _{LL}); ritmo de corrida nas zonas de treinamento (Z _{RC})	Z1: < LL ₁ /80% RC Z2: LL ₁ a LL ₂ /80-95% RC Z3: > LL ₂ /95% RC	Z1 _{RC} : 88,5% Z2 _{RC} : 7,4% Z3 _{RC} : 4,1% Z1 _{LL} : 87,2% Z2 _{LL} : 6,1% Z3 _{LL} : 6,6%	50 semanas	Corredores de média distância: 127,4 ± 28,7 Corredores de longa distância: 145,9 ± 27,9	Analisar a distribuição da intensidade do treinamento usando duas abordagens diferentes para organizar as zonas: Ritmo de corrida individual e parâmetros fisiológicos (Z _{LL} vs. Z _{RC})	Para o grupo de corredores de média distância 800/1500 m: Z2 _{RC} vs. Z2 _{LL} (TE=0,63) Z3 _{LL} vs. Z3 _{RC} (TE=0,61) Para o grupo de corredores de longa distância 5000/10000 m: Z2 _{RC} vs. Z2 _{LL} (TE=1,20) Z3 _{RC} vs. Z3 _{LL} (TE=0,93)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: TE: tamanho do efeito; LTG: limiar de troca gasosa; FC: frequência cardíaca; LL₁: primeiro limiar de lactato; LL₂: segundo limiar de lactato; OBLA: início do acúmulo de lactato sanguíneo; PCR: ponto de compensação respiratória; EC: economia de corrida; RP: ritmo de corrida; PSE: percepção subjetiva de esforço; VO₂: consumo de oxigênio; VO₂pico: consumo pico de oxigênio; VO₂máx: consumo máximo de oxigênio; LV₁: primeiro limiar ventilatório; Z: zona.

2.3.7 ESTUDOS RANDOMIZADOS DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO

A tabela 6 mostra a análise dos principais resultados encontrados nos estudos randomizados incluídos nesta revisão sistemática. Dez estudos conduziram um ensaio clínico randomizado (BILLAT *et al.*, 1999; CARNES; MAHONEY, 2019; CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; DÜKING *et al.*, 2020; ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; FARRELL *et al.*, 2019; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018), embora três estudos não tenham usado uma ANOVA para analisar o efeito do tempo para detectar possíveis diferenças na interação tempo·grupo (CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; FESTA *et al.*, 2020). Dois estudos encontraram uma porcentagem maior de melhorias no desempenho durante o contrarrelógio de 10400 m e 10000 m para a DIT piramidal/polarizada (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007) e polarizada (MUÑOZ *et al.*, 2014), respectivamente, quando comparado ao treinamento no limiar. No entanto, outro estudo que comparou a DIT polarizada e limiar observou que ambos os grupos foram capazes de melhorar os parâmetros laboratoriais (ou seja, velocidade de corrida em LV₁, PCR, VO₂máx e EC) e desempenho de 2000 m no contrarrelógio (FESTA *et al.*, 2020).

Cinco estudos também testaram configurações de treinamento não convencionais, como (treinamento intervalado normal e treinamento intervalado com sobrecarga) (BILLAT *et al.*, 1999), (treinamento de alto volume e baixa intensidade [*LOW*] e treinamento de alta intensidade e baixo volume [*HIGH*]) (ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESEN, 2011), (carga incremental, carga constante e treinamento livre) (CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014), (*LOW*, *HIGH* e DIT polarizada) (ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018), (intensidade aumentada semanalmente, intensidade semanal constante e treinamento escolhido livremente) (CLEMENTE-SUAREZ; DALAMITROS; NIKOLAIDIS, 2018), (*CrossFit*® e DIT polarizada) (CARNES; MAHONEY, 2019), e (treinamento intervalado de alta intensidade [*HIIT*], treinamento de alto volume e baixa intensidade [*HVLIT*], e treinamento de alta frequência [*HFT*] (DÜKING *et al.*, 2020). Nesse sentido, Billat *et al.*, (1999) observaram que um aumento na carga de treinamento em alta intensidade (ou seja, zona 3) em comparação com baixa intensidade (ou seja, zona 1) foi igualmente eficaz para reduzir a FC e o VO₂ em intensidade submáxima de exercício, bem como para aumentar a velocidade de corrida associada ao consumo máximo de oxigênio (vVO₂máx). Enoksen; Shalfawi; Tønnessen, (2011)

observaram uma redução semelhante no VO_2 durante diferentes velocidades submáximas de corrida com treinamento de alto volume em baixa intensidade, bem como alta intensidade em baixo volume, mas relataram um aumento na velocidade de corrida associada ao limiar de lactato (LL) e a $v\text{VO}_{2\text{max}}$ apenas após o treinamento de baixo volume em alta intensidade. Clemente Suárez; González-Rave (2014) encontraram diminuições no VO_2 entre o pré e o pós-teste para os grupos intensidade incremental e treino livre na intensidade do LV_1 , bem como diminuições na FC para o grupo de intensidade constante e VO_2 para o grupo intensidade incremental na intensidade do LV_2 . Além disso, todos os grupos estudados apresentaram melhora na velocidade de corrida durante a realização de um contrarrelógio de 2000 m. Em um estudo similar, Clemente Suárez; Dalamitos; Nikolaidis, (2018) observaram aumentos na velocidade de corrida a $8\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para o grupo em que a intensidade do treinamento foi aumentada semanalmente e um decréscimo na FC a $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para o grupo que manteve a intensidade do treinamento constante. Carnes; Mahoney, (2019) observaram aumentos no $\text{VO}_{2\text{máx}}$ e no desempenho no contrarrelógio de 5000 m utilizando uma DIT polarizada e *CrossFit*®. Porém, a DIT polarizada produziu um aumento maior no $\text{VO}_{2\text{máx}}$ quando comparado ao treinamento *CrossFit*®. Zinner; Schäfer; Sperlich, (2018) verificaram aumentos no $\text{VO}_{2\text{pico}}$ e uma diminuição no tempo gasto para completar o desempenho do contrarrelógio de 5000 m nos grupos *LOW*, *HIGH* e DIT polarizada. Por outro lado, apenas o treinamento de alto volume em baixa intensidade apresentou melhora na EC. Recentemente, Düking *et al.*, (2020) encontraram aumentos no $\text{VO}_{2\text{pico}}$ para o grupo HVLIT e um decréscimo na FC submáxima para o grupo HFT.

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática.

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Billat <i>et al.</i> , (1999)	Corredores do sexo masculino de média e longa distância bem treinados (n=8) VO ₂ máx: 71,2 ± 5 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	G1: Treinamento intervalado normal (n=8) G2: Treinamento intervalado com sobrecarga (n=8)	Velocidade de corrida nas zonas de treinamento	Z1: <OBLA (85% vVO ₂ máx) Z2: OBLA (85% vVO ₂ max) Z3: vVO ₂ max	Treinamento intervalado normal (G1): Z1: 81,0% Z2: 13,1% Z3: 5,9% Treinamento intervalado com sobrecarga (G2): Z1: 67,9% Z2: 13,6% Z3: 18,5%	4 semanas	Treinamento <i>baseline</i> : 85 a 90 G1: 85 G2: 85	Velocidade de corrida, FC, VO ₂ , FC·VO ₂ ⁻¹ , VE, RTR e lactato a 14 km·h ⁻¹ e lactato no OBLA, VO ₂ e TE no VO ₂ max	FC a 14 km·h ⁻¹ : G1: -4,3% (p<0,05) CE2: -7,4% (p<0,05) VO ₂ a 14 km·h ⁻¹ : G1: -6,1% (p<0,05) G2: -9,2% (p<0,05) vVO ₂ máx: G1: +2,9% (p<0,05) G2: +2,0% (p<0,05)
Esteve-Lanao <i>et al.</i> , (2007)	Corredores de longa distância de nível nacional e regional competindo em 5000 m em provas de atletismo e 9 a 12 km em corridas de <i>cross-country</i> (n=12) VO ₂ max: 68,6 ± 2,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 70,3 ± 2,6 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2)	G1: Piramidal/polarizado (n=6) G2: Limiar (n=6)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <PCR Z3: >PCR	Piramidal/polarizado (G1): Z1: 80,5% Z2: 11,8% Z3: 8,3% Limiar (G2): Z1: 66,8% Z2: 24,7% Z3: 8,5%	21 semanas	Período preparatório: 120 Período competitivo: 40 a 50 Durante todo o período de estudo: 80 a 90	Teste de 10400 m no contrarrelógio, VO ₂ máx, vVO ₂ máx, %VO ₂ máx e FC nas intensidades do LV ₁ e PCR	Teste de 10400 m no contrarrelógio: efeito para o tempo (p=0,03) Magnitude da melhora maior em G1 vs. G2

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Enoksen; Shalfawi; Tønnessen, (2011)	Corredores do sexo masculino de média e longa distância bem treinados (n=26) VO ₂ máx: 70,4 ± 3,8 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 70,2 ± 2,7 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2)	G1: Alto volume e baixa intensidade (n=13) G2: Alta intensidade e baixo volume (n=13)	FC nas zonas de treinamento	Z1: 65-82% FC _{máx} Z2: 82-92% FC _{máx} Z3: >92% FC _{máx}	<i>LOW</i> (G1): Z1: 87,0% Z2: 13,0% Z3: - <i>HIGH</i> (G2): Z1: 67,0% Z2: 33,0% Z3: -	10 semanas	<i>LOW</i> : 70 <i>HIGH</i> : 50	VO ₂ a 9; 10; 11,5; 13; 14,5 e 16 km·h ⁻¹ , velocidade de corrida e %VO ₂ máx no LL, VO ₂ máx, vVO ₂ máx	VO ₂ a 9 km·h ⁻¹ : G2: -5,0% (p<0,05) VO ₂ a 10 km·h ⁻¹ : G1: -4,9% (p<0,05) G2: -4,6% (p<0,05) VO ₂ a 11,5 km·h ⁻¹ : G1: -4,3% (p<0,05) VO ₂ a 13 km·h ⁻¹ : G1: -4,2% (p<0,05) G2: -4,7% (p<0,05) VO ₂ a 14,5 km·h ⁻¹ : G1: -4,5% (p<0,05) G2: -3,2% (p<0,05) VO ₂ a 16 km·h ⁻¹ : G1: -3,9% (p<0,05) G2: -2,6% (p<0,05) Velocidade de corrida no LL: G2: +4,8% (p<0,05) vVO ₂ máx: +5,0% (p<0,05)

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Muñoz <i>et al.</i> , (2014)	Corredores de longa distância treinados recreacionalmente (10 km a meia maratona) (n=30) VO ₂ máx: 61,0 ± 8,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 64,1 ± 7,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2)	G1: Polarizado (n=15) G2: Limiar (n=15)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <PCR Z3: >PCR	Polarizado (G1): Z1: 72,9% Z2: 13,5% Z3: 13,6% Limiar (G2): Z1: 46,8% Z2: 37,3% Z3: 15,8%	10 semanas (5-6 dias·semana ⁻¹)	Treinamento específico: 70 Última semana de treinamento: 30 Durante todo o período de estudo: 50	Teste de 10000 m no contrarrelógio	Teste de 10000 m no contrarrelógio G1: -5,0% (p<0,001) G2: -3,5% (p<0,001)
Clemente Suárez; González-Rave, (2014)	Corredores de longa distância treinados (n=30) VO ₂ máx: 55,6 ± 8,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 54,1 ± 9,0 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2) – 59,1 ± 8,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G3)	G1: Intensidade constante (n=10) G2: Intensidade incremental (n=10) G3: Treinamento livre (n=10)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <LV ₂ Z3: >LV ₂	Intensidade constante (G1): Z1: 81,1% Z2: 12,1% Z3: 6,7% Intensidade incremental (G2): Z1: 78,7% Z2: 14,4% Z3: 6,8% Treinamento livre (G3): Z1: 69,0% Z2: 23,6% Z3: 7,2%	4 semanas (5 dias·semana ⁻¹)	*Volume de treinamento não reportado em km	Velocidade de corrida, VO ₂ e FC nas intensidades do LV ₁ , LV ₂ e VO ₂ máx	LV ₁ : G2: -8,8% VO ₂ (L·min ⁻¹) G3: -11,9% VO ₂ (L·min ⁻¹) and -11,3 VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) LV ₂ : G1: -2,4% FC G2: -8,4% VO ₂ (L·min ⁻¹) VO ₂ máx: nenhuma diferença em qualquer um dos grupos

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Clemente Suárez; Dalamitros; Nikolaidis, (2018)	Corredores de longa distância do sexo masculino recreacionalmente treinados (n=30) VO ₂ máx: (não especificado)	G1: Intensidade semanalmente aumentada (n=10) G2: Intensidade semanal constante (n=10) G3: Treinamento escolhido livremente (n=10)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <2mmol·L ⁻¹ Z2: 2-4mmol·L ⁻¹ Z3: >4mmol·L ⁻¹	Intensidade aumentada semanalmente (G1): Z1: 78,9% Z2: 14,0% Z3: 7,1% Intensidade semanal constante (G2): Z1: 81,7% Z2: 12,7% Z3: 5,6% Treinamento escolhido livremente (G3): Z1: 69,4% Z2: 23,6% Z3: 7,0%	4 semanas	*Volume de treinamento não reportado em km	Velocidade de corrida, FC e PSE a 2,5; 4 e 8mmol·L ⁻¹	FC a 4mmol·L ⁻¹ : G2: -9.0% (p=0.033) Velocidade de corrida a 8mmol·L ⁻¹ : G1: +11.5% (p=0.047)

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Carnes; Mahoney, (2019)	Corredores de longa distância recreacionalmente treinados (n=21) do sexo masculino (n=15) e feminino (n=6) VO ₂ peak: 44,2 ± 14,6 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 41,0 ± 12,9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2)	G1: DIT polarizada (n=12) G2: Treinamento de <i>CrossFit</i> ® (n=9)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <PCR Z3: >PCR	Polarizado (G1): Z1: 73,8% Z2: 11,1% Z3: 15,0% <i>CrossFit</i> ® (G2): Z1: 46,1% Z2: 15,4% Z3: 38,5%	12 semanas (5 dias·semana ⁻¹)	G1: Aumentou de 33 para 48 na semana 1 e aumentou de 48 para 65 na semana 10 G2: Aumentou de 12 para 18 na semana 1 e aumentou de 24 para 30 na semana 10	VO ₂ máx Teste de 5000 m no contrarrelógio	VO ₂ máx: efeito para o tempo (p<0,001) e para a interação tempo·grupo (p=0,05) G1: +8,45% G2: +3,42% Teste de 5000 m no contrarrelógio: efeito para o tempo (p<0,001) G1: -6,21% G2: -5,49%

Tabela 6. Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Zinner; Schäfer; Sperlich, (2018)	Corredores de longa distância recreacionalmente treinados (n=42) do sexo masculino (n=23) e feminino (n=19) VO ₂ peak: 46,7 ± 7,8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 44,4 ± 7,9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2) – 44,6 ± 4,8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G3)	G1: <i>HIGH</i> G2: <i>LOW</i> G3: Polarizado	PSE e FC nas zonas de treinamento	Z1: <2mmol·L ⁻¹ Z2: 2-4mmol·L ⁻¹ Z3: >4mmol·L ⁻¹	<i>HIGH</i> (G1): Z1: 39,3% Z2: 20,5% Z3: 40,2% <i>LOW</i> (G2): Z1: 93,7% Z2: 6,3% Z3: - Polarizado (G3): Z1: 69,7% Z2: 13,4% Z3: 16,9%	4 semanas + 1 semana de polimento (previamente 4 semanas de <i>wash-in</i>)	*Volume de treinamento não reportado em km	VO ₂ máx Teste de 5000 m no contrarrelógio, velocidade de corrida no LL EC a 9 km.h ⁻¹	VO ₂ peak: G1: +8% G2: +4% G3: +6% (p<0,05) EC: G2: -4,65% (p=0,04) Teste de 5000 m no contrarrelógio: efeito para o tempo G1: -7% G2: -10% G3: -8% (p<0,05)

Tabela 6. Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Festa <i>et al.</i> , (2020)	Corredores de longa distância recreacionalmente treinados (n=38) do sexo masculino (n=31) e feminino (n=7) VO ₂ máx: 52,9 ± 8,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 53,4 ± 8,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2)	G1: Polarizado (n=19) G2: Limiar (n=19)	FC nas zonas de treinamento	Z1: <LV ₁ Z2: >LV ₁ <PCR Z3: >PCR	Polarizado (G1): G1: 77% G2: 3% G3: 20% Limiar (G2): G1: 40% G2: 50% G3: 10%	8 semanas (3-4 dias·semana ⁻¹)	*Volume de treinamento não reportado em km	Velocidade de corrida no LV ₁ , PCR e VO ₂ máx, EC na intensidade da RTR, Teste de 2000 m no contrarrelógio (km.h ⁻¹)	LV ₁ : G1: +4,0% (p<0,001) G2: +3,2% (p=0,04) PCR: G1: +5,7% (p<0,01) G2: +3,4% (p<0,05) VO ₂ máx: G1: +3,2% (p<0,01) G2: +4,0% (p=0,03) RE: G1: +5,3% (p=0,04) G2: +8,7% (valor de p não informado) Teste de 2000 m no contrarrelógio (km.h ⁻¹): G1: +3,5 (p<0,05) G2: +3,0 (p<0,05)

Tabela 6 – Estudos randomizados que comparam diferentes distribuições de intensidade de treinamento incluídos nesta revisão sistemática (*continuação*).

Referências	Características dos sujeitos	Grupos experimentais	Classificação das intensidades de treinamento	Zonas de intensidade do treinamento	Distribuição das intensidades de treinamento	Duração	Volume de treinamento (km·week ⁻¹)	Outcomes	Resultados principais
Düking <i>et al.</i> , (2020)	Corredores de longa distância recreacionalmente treinados (n=13) do sexo masculino (n=5) e feminino (n=8) VO ₂ pico: 45,0 ± 5,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G1) – 44,8 ± 5,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G2) – 44,3 ± 4,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (G3)	G1: HIIT G2: HVLIT G3: HFT	FC nas zonas de treinamento	Z1: <2mmol·L ⁻¹ Z2: 2-4mmol·L ⁻¹ Z3: >4mmol·L ⁻¹	HIIT (G1): Z1: 41,7% Z2: 32,2% Z3: 26,0% HVLIT (G2): Z1: 45,1% Z2: 50,1% Z3: 4,6% HFT (G3): Z1: 39,6% Z2: 58,6% Z3: 1,7%	2 semanas (<i>baseline</i>) + 3 semanas (mesociclo) + 2 semanas (<i>wash-out</i>) + 3 semanas (mesociclo) + 2 semanas (<i>wash-out</i>)	*Volume de treinamento não reportado em km	VO ₂ pico, VO ₂ e FC em intensidade submáxima, velocidade de corrida, a 2 e 4mmol·L ⁻¹ , TTE a 1,94 (mulheres) ou 2,22 m·s ⁻¹ (homens)	VO ₂ pico: G1: +2,8% (p=0,045) G3: +4.5% (p=0,020) FC em intensidade submáxima: G3: -3,0% (p=0,03)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: LTG: limiar de troca gasosa; FC: frequência cardíaca; *HIGH*: treinamento de alta intensidade e baixo volume; *HIIT*: treinamento intervalado de alta intensidade; *HFT*: treinamento de alta frequência; FC_{máx}: frequência cardíaca máxima; *HVLIT*: treinamento de alto volume e baixa intensidade; LL: limiar de lactato; OBLA: início do acúmulo de lactato sanguíneo; PCR: ponto de compensação respiratória; EC: economia de corrida; RTR: razão de troca respiratória; PSE: percepção subjetiva de esforço; TTE: tempo de exaustão; LV₁: primeiro limiar ventilatório; VE: ventilação; vVO₂máx: velocidade de corrida associada ao consumo máximo de oxigênio; LV₂: segundo limiar ventilatório; VO₂máx: consumo máximo de oxigênio; VO₂: consumo de oxigênio; VO₂pico: consumo pico de oxigênio; *LOW*: treinamento de alto volume e baixa intensidade; Z: zona; % VO₂máx: porcentagem máxima de consumo de oxigênio.

2.4 DISCUSSÃO

Os principais resultados desta revisão sistemática indicaram que I) há uma predominância da DIT piramidal sobre os outros modelos; II) o modelo de DIT pode ser substancialmente influenciado pelo método utilizado para sua quantificação; III) DIT piramidal e polarizada são responsáveis pelos melhores desempenhos em corredores de média e longa distância em relação ao treinamento no limiar.

Os artigos selecionados para esta revisão sistemática reportaram a predominância de uma DIT piramidal nos estudos retrospectivos (BILLAT *et al.*, 2003; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010) (tabela 4) e longitudinais (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; GALBRAITH *et al.*, 2014) (tabela 5), entretanto a presença de uma DIT polarizada também foi notada (BILLAT *et al.*, 2001) (tabela 4). Embora Farrell *et al.*, (2019) tenham aplicado uma DIT polarizada em seu estudo, a quantificação do treinamento produziu uma DIT piramidal (tabela 5). Outros estudos também mostraram que a DIT pode apresentar um modelo piramidal ou polarizado dependendo do método utilizado para sua quantificação (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015). Além disso, outros fatores como o nível de treinamento (BILLAT *et al.*, 2001; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MANZI *et al.*, 2015), o período da temporada esportiva (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014; TJELTA; ENOKSEN, 2010) e a meta competitiva em relação à distância alvo (ou seja, 800 m à maratona) (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020) podem influenciar o volume total de treinamento, bem como o modelo de DIT utilizado.

Corredores altamente treinados (BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010) realizam um volume total de treinamento substancialmente maior (aproximadamente 145-205 km·semana⁻¹) que seus pares bem treinados (aproximadamente 80-90 km·semana⁻¹) (BILLAT *et al.*, 1999; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005), e corredores recreacionalmente treinados (aproximadamente 50-65 km·semana⁻¹) (CARNES; MAHONEY, 2019; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014). Apesar dessas diferenças, corredores recreacionalmente treinados organizam sua DIT de maneira semelhante aos corredores bem e altamente treinados. Embora os estudos que analisam a DIT em corredores recreacionalmente treinados ainda sejam limitados, há dados consistentes que apoiam a inclusão dos modelos de DIT piramidal e polarizado para a melhoria do desempenho no

contrarrelógio (CARNES; MAHONEY, 2019; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014) e $VO_2máx$ (CARNES; MAHONEY, 2019; FESTA *et al.*, 2020). Desse modo, as DITs piramidal e polarizada parecem ser os modelos mais recomendados para corredores recreacionalmente treinados, exigindo pequenos ajustes dependendo da distância competitiva, tempo disponível para treinar e período da temporada esportiva (BOULLOSA *et al.*, 2020).

Durante o período preparatório ou de construção, atletas de *endurance* realizam predominantemente um alto volume em sessões de baixa intensidade caracterizadas por corridas contínuas (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Esse tipo de treinamento realizado na zona 1 tem como objetivo principal construir uma base fisiológica sólida durante o início da temporada de treinamento (CASADO *et al.*, 2019; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011) visando aumentar a capacidade oxidativa (TJELTA, 2019). Conforme os períodos pré-competitivo e competitivo se aproximam, há uma pequena diminuição do volume total de treinamento (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; TJELTA, 2019; TJELTA; ENOKSEN, 2010) devido ao aumento do número de sessões de treinamento de alta intensidade (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA, 2019; TJELTA; ENOKSEN, 2010) que podem conduzir a uma DIT mais polarizada (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011). Por outro lado, a presença de sessões de treinamento intervalado e corridas contínuas em intensidade moderada perto do limiar anaeróbio é observada durante grande parte da temporada esportiva (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; TJELTA; ENOKSEN, 2010) e consistente com uma revisão de literatura que enfatizou o uso de treinamento na intensidade do limiar como uma prática típica em corredores de longa distância de classe mundial (KENNEALLY; CASADO; SANTOS-CONCEJERO, 2018). Dessa forma, parece que a proporção relativamente alta de treinamento na zona 2 pode explicar a predominância de uma DIT piramidal descrita pela maioria dos estudos (BILLAT *et al.*, 2003; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Dos 17 estudos selecionados para a revisão sistemática, apenas cinco estudos forneceram informações sobre as mudanças no volume total de treinamento durante os diferentes períodos da temporada esportiva (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Em geral, a proporção do tempo total de treinamento gasto em cada zona de intensidade do exercício é ligeiramente alterada ao longo da temporada esportiva; no entanto, uma pequena diminuição (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; TJELTA; ENOKSEN, 2010) ou uma diminuição substancial (ESTEVE-

LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014) no volume total de treinamento foi observada entre os períodos preparatório e competitivo. Esses ajustes no volume de treinamento são geralmente acompanhados por uma quantidade maior de sessões de treinamento intervalado de alta intensidade e *tempo runs* (CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020; CASADO *et al.*, 2019; TJELTA, 2019). Portanto, embora o treinamento de corredores de média e longa distância seja construído por meio de corridas contínuas em baixa intensidade, uma certa quantidade de treinamento de alta intensidade e *tempo runs* no ritmo de corrida das competições é necessário para melhorar o desempenho conforme as competições se aproximam (CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020; CASADO *et al.*, 2019). Nesse sentido, algumas revisões destacaram que o treinamento de alta intensidade associado a menores volumes totais por meio de estratégias de *tapering* durante o período pré-competitivo podem melhorar o desempenho, aprimorando a força e potência muscular, restaurando os estoques de glicogênio muscular, além do aumento da atividade das enzimas oxidativas, volume de glóbulos vermelhos e níveis circulantes de testosterona (MUJIKÁ, 2010; MUJIKÁ; PADILLA, 2003).

As características do treinamento implementado para as diferentes distâncias de corrida também são determinadas pela demanda fisiológica da prova específica. Assim, meio maratonistas e maratonistas que realizam suas corridas específicas (perto ou abaixo de LL_2), normalmente, reportam maiores volumes de treinamento com proporcionalmente mais sessões de treinamento nas zonas 1 e 2, e menos na zona 3 (BILLAT *et al.*, 2001; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011). Em contraste, corredores de pista de média e longa distância que realizam suas corridas específicas (acima de LL_2) geralmente reportam menores volumes de treinamento com um número proporcionalmente menor de sessões de treinamento nas zonas 1 e 2, e maior na zona 3 (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2003; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; KENNEALLY *et al.*, 2020; TJELTA; ENOKSEN, 2010). Essa lógica parece estar de acordo com estudos recentes que mostraram alta participação da via anaeróbia em corredores de 800 m (BACHERO-MENA; GONZÁLEZ-BADILLO, 2021) e um alto percentual de fibras do tipo II em corredores de 1500 m (BELLINGER *et al.*, 2021). Além disso, estudos que incluíram corredores de média e longa distâncias mostraram que eventos mais longos requerem maior volume total de treinamento, enquanto eventos mais curtos requerem menor volume total de treinamento (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; KENNEALLY *et al.*, 2020). Dessa forma, o treinador pode modificar a orientação da DIT para um modelo mais piramidal ou polarizado de acordo com a distância do evento específico visado pelo atleta.

Inúmeros estudos demonstraram que o desempenho competitivo está fortemente correlacionado com o tempo de treinamento gasto na zona 1 (CASADO *et al.*, 2019; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MANZI *et al.*, 2015). De fato, o treinamento na zona 1, onde são realizadas sessões de treinamento contínuo em baixa intensidade (ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MANZI *et al.*, 2015; TJELTA; ENOKSEN, 2010) contribui significativamente para o volume total da distância percorrida durante o treinamento sistemático de *endurance*. Consequentemente, apenas o volume total de treinamento pode explicar 59% da variabilidade dos escores de desempenho entre corredores de longa distância de classe mundial (CASADO *et al.*, 2019). Sessões de treinamento contínuo em baixa intensidade são fisiologicamente importantes para aumentar a taxa de oxidação do lactato (GONZÁLEZ-MOHÍNO *et al.*, 2016), bem como melhorar a morfologia e função da mitocôndria (SAUNDERS *et al.*, 2004) e reduzir o componente lento do VO_2 (JONES; BURNLEY, 2009), além de funcionar bem como um método de recuperação ativa entre as sessões de treinamento mais pesadas (CASADO *et al.*, 2019). Para complementar o treinamento de *endurance*, corredores de média e longa distância geralmente utilizam *tempo runs* e treinamento intervalado de alta intensidade em suas rotinas de treinamento (BILLAT *et al.*, 2003; CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020; CASADO *et al.*, 2019). Sessões de treinamento nas zonas 2 e 3 realizadas em intensidades próximas ao $VO_{2máx}$ podem aumentar o potencial aeróbio das fibras do tipo IIA tornando-as mais resistentes à fadiga (BILLAT *et al.*, 2003; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005). Nessa linha, Billat *et al.*, (2003) relataram que corredores quenianos de alto nível que realizaram "treinamento de alta velocidade" (ou seja, corredores que realizaram sessões de treinamento em velocidades iguais ou maiores que a $vVO_{2máx}$) exibiram valores de $VO_{2máx}$ e $vVO_{2máx}$ mais elevados quando comparados a seus pares que realizaram "treinamento de baixa velocidade" (isto é, corredores que realizaram sessões de treinamento em velocidades abaixo da $vVO_{2máx}$). Esses resultados sugerem que o treinamento de alta velocidade pode melhorar a força muscular dos corredores e aumentar sua capacidade de sustentar velocidades mais altas de corrida (NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990), o que pode ser importante nas fases finais da prova específica (BILLAT *et al.*, 2003; RENFREE *et al.*, 2020). Embora uma certa quantidade de *tempo runs* e sessões de treinamento de alta intensidade sejam necessárias para otimizar o desempenho de *endurance*, Billat *et al.*, (1999) relataram que corredores de média e longa distância que realizaram sessões de treinamento intervalado de alta intensidade na vVO_{2max} três vezes por semana exibiram concentrações mais altas de norepinefrina no final das sessões de treinamento em comparação com o grupo que realizou apenas uma sessão de treinamento intervalado de alta

intensidade ao longo da semana. Esses resultados indicam que um atleta de *endurance* sistematicamente submetido a um grande volume de treinamento intervalado de alta intensidade pode apresentar um *downregulation* do sistema nervoso simpático (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005). Portanto, considerando que uma diminuição na excreção de catecolaminas pode gerar desregulação da atividade simpática intrínseca (LEHMANN; GASTMANN; *et al.*, 1992), é possível que atletas submetidos a altas cargas de trabalho apresentem uma sensibilidade reduzida às catecolaminas, o que poderia reduzir o débito cardíaco e a capacidade de desviar o fluxo sanguíneo para os músculos ativos durante o exercício (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005). Nesse contexto, dados consistentes mostraram que uma redução de pelo menos 50% na dopamina basal, norepinefrina e epinefrina foi acompanhada pela síndrome do *overtraining* em atletas de alto rendimento (LEHMANN; SCHNEE; *et al.*, 1992). Além disso, a sobrecarga muscular e articular devido à alta velocidade de corrida em que esses tipos de treinamento são realizados também deve ser considerada pelos treinadores. Portanto, uma quantidade substancial de treinamento deve ser utilizada na zona 1 para reduzir os riscos de *non-functional overreaching* (BELLINGER, 2020), *overtraining* (BILLAT *et al.*, 1999; CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020) ou lesão (CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020) causada pelas sessões de treinamento realizadas nas zonas 2 e 3. Finalmente, embora vários fatores possam contribuir para o desenvolvimento de um modelo de DIT piramidal ou polarizado, parece haver um consenso de que o treinamento de alto volume em baixa intensidade ($\geq 70\%$) combinado com o treinamento de baixo volume no limiar e alta intensidade ($\leq 30\%$) produz o desempenho de corrida “ideal” (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 2003; BILLAT *et al.*, 2001; BILLAT *et al.*, 1999; CLEMENTE SUAREZ; GONZÁLEZ-RAVÉ, 2014; ENOKSEN; TJELTA; TJELTA, 2011; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2014; TJELTA; ENOKSEN, 2010), possivelmente devido à ligação existente entre as características dessa combinação de treinamento e o padrão de atividade física dos nossos ancestrais (BOULLOSA *et al.*, 2013).

Estudos recentes observaram que os métodos de quantificação internos (lactato sanguíneo, FC e PSE-sessão) e externos (ritmo de corrida e velocidade de corrida) afetam o cálculo da DIT (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; KENNEALLY *et al.*, 2020; MANZI *et al.*, 2015) (tabela 5). No entanto, esses métodos de quantificação (FC vs. velocidade de corrida) (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020), (lactato sanguíneo vs. ritmo de corrida) (KENNEALLY *et al.*, 2020) e (FC vs. PSE-sessão) (MANZI *et al.*, 2015) não parecem

influenciar o cálculo da DIT na zona 1. Essa resposta semelhante em relação aos métodos de quantificação da DIT não é surpreendente, e pode estar associada à cinética do VO_2 e do lactato sanguíneo que atingem seu *steady-state* dentro de 2-3 min em intensidades de exercício abaixo de LL_1 e LV_1 (GALÁN-RIOJA *et al.*, 2020). Em contraste, Bellinger *et al.*, (2020) observou que a PSE-sessão rendeu menor tempo de treinamento gasto na zona 1 quando comparado aos métodos de quantificação da DIT baseadas na velocidade de corrida e FC. Entretanto, as maiores discrepâncias foram verificadas nas zonas 2 e 3 e podem estar relacionadas às limitações dos métodos em quantificar as sessões realizadas nessas zonas de treinamento. Nesse sentido, evidências consistentes demonstraram um aumento lento na FC durante cargas de trabalho moderadas a altas, quando a duração do exercício foi estendida por mais de 20 min (GILMAN, 1996). Esse fenômeno conhecido como “*drift*” cardíaco pode ser potencializado pela temperatura e umidade relativa (LAMBERT; MBAMBO; GIBSON, 1998), o que pode afetar a quantificação da DIT. Além disso, a cinética da FC evolui mais lentamente que o ritmo de corrida com o aumento da intensidade do treinamento durante as sessões de treinamento intervalado de alta intensidade, de modo que o tempo de treinamento menor gasto na zona 3 e maior na zona 2 pode ser encontrado em métodos de quantificação da DIT baseados na FC em comparação com a velocidade de corrida (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020). Em suma, não há dúvidas de que todos os métodos de quantificação da DIT apresentam suas limitações, o que dificulta a sugestão de um único método específico. Esses problemas surgem particularmente quando a prescrição da intensidade do exercício é baseada apenas nas respostas fisiológicas durante um teste de exercício graduado (FOSTER *et al.*, 2020). Nessa linha, treinadores e pesquisadores geralmente utilizam intensidades absolutas ou relativas associadas aos limiares ventilatórios ou de lactato para prescrever o treinamento de corrida (JEANS *et al.*, 2011). A intensidade do exercício determinada por meio de testes laboratoriais superestimam a carga de trabalho sustentada durante as sessões de treinamento devido à mudanças progressivas na temperatura central, acúmulo de catecolaminas, desidratação progressiva ou outros fatores relacionados à fadiga gerada durante o processo de treinamento (FOSTER *et al.*, 2020). Assim, é possível que a adição de ferramentas como avaliação da PSE (PARFITT; EVANS; ESTON, 2012) e o *talk test* (WOLTMANN *et al.*, 2015) durante o teste de exercício graduado, bem como durante as sessões de treinamento em tempo real, possam ajudar treinadores e pesquisadores a traduzir as respostas dos testes laboratoriais e ajustar a carga de trabalho com precisão durante as sessões de treinamento (FOSTER *et al.*, 2020; JEANS *et al.*, 2011; PARFITT; EVANS; ESTON, 2012; WOLTMANN *et al.*, 2015), minimizando assim, os erros de prescrição. Estudos apontam que atletas de *endurance* frequentemente realizam suas sessões recuperativas em uma

intensidade maior que a pretendida pelo técnico, tornando-os incapazes de atingir a intensidade pré-designada durante as sessões de alta intensidade (FOSTER *et al.*, 2021; FOSTER; HEIMANN; *et al.*, 2001). Nesse sentido, a quantificação da DIT através da velocidade de corrida poderia ajudar os atletas a adotar uma intensidade de treinamento “fácil” apropriada de acordo com as prescrições específicas do treinador. Por outro lado, a FC parece ser um método viável para quantificar sessões de treinamento intervalados mais longos e corridas de longa distância (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020), embora os treinadores devam considerar que esse método de quantificação pode ser fortemente influenciado pelas condições ambientais (GILMAN, 1996; LAMBERT; MBAMBO; GIBSON, 1998). Além disso, algumas estratégias, como adotar uma abordagem direcionada ao objetivo principal da sessão, descartando o período de recuperação entre os “tiros” das sessões de treinamento intervalado de alta intensidade (SEILER; KJERLAND, 2006) podem aumentar a precisão da quantificação na zona 3 por meio da FC. Da mesma forma, essa mesma estratégia pode ser adotada para quantificação através da PSE-sessão, em que as respostas do atleta podem ser coletadas após os componentes principais da sessão de treinamento (ou seja, aquecimento, sessão principal e *cooldown*) (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020). Complementarmente, Foster *et al.*, (2021) enfatizaram que levar em consideração a PSE-sessão nas diferentes partes das sessões de treinamento intervalado e *tempo runs* pode ser uma estratégia útil para aprimorar a interpretação do atleta. Por fim, parece que o uso combinado de ferramentas objetivas e subjetivas podem diminuir os riscos de má interpretação e ajudar os treinadores e pesquisadores a melhorar a quantificação da DIT; entretanto, pesquisas adicionais sobre o tema ainda são necessárias.

Estudos randomizados também compararam as respostas fisiológicas nos testes de laboratório e de campo por meio do desempenho no contrarrelógio em corredores de longa distância submetidos aos modelos clássicos de DIT, ou seja, piramidal, polarizado e limiar (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014) (tabela 6). Esteve-Lanao *et al.*, (2007) e Muñoz *et al.*, (2014) reportaram melhores desempenhos no contrarrelógio no grupo de corredores que realizaram uma DIT piramidal/polarizado e polarizado, respectivamente, em comparação com o grupo que realizou treinamento na intensidade do limiar. Embora existam evidências que demonstraram melhoras no VO_{2pico} e no LL_2 em indivíduos sedentários que realizaram treinamento contínuo próximo ao limiar anaeróbio (EDGE; BISHOP; GOODMAN, 2006), o oposto pode acontecer em atletas de *endurance* bem treinados, sendo necessário utilizar um volume de treinamento menor nessa intensidade ($\leq 20\%$) para reduzir os riscos de *overtraining* (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007). Postula-se que o

limiar anaeróbio em atletas de *endurance* bem treinados envolvidos com o treinamento sistemático ocorre em uma porcentagem maior da intensidade do $\text{VO}_2\text{máx}$ (ou seja, 75-90%) (JONES *et al.*, 2019) que indivíduos sedentários. Portanto, considerando que esses atletas costumam realizar um volume total de treinamento maior que os sedentários, é possível que uma rotina de treinamento semanal ($\geq 20\%$) realizada no limiar anaeróbio seja muito exigente e, portanto, não produza maiores adaptações positivas em relação as rotinas de treinamento com volumes maiores na zona 1 (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007). Por essa razão, talvez os treinadores intuitivamente prefiram utilizar uma quantidade menor de treinamento ($\leq 15\%$) na intensidade do limiar dentro de uma DIT piramidal em vez de utilizar uma DIT no limiar. Além disso, a zona 2 (entre LL_1/LV_1 e LL_2/LV_2) parece exibir um espectro de velocidade de corrida mais baixo em comparação com as zonas 1 ($<\text{LL}_1/\text{LV}_1$) e 3 ($>\text{LL}_2/\text{LV}_2$) que cobrem um amplo espectro de velocidade de corrida. Dessa forma, as características da zona tornam o acúmulo do volume de treinamento na zona 2 particularmente difícil. Festa *et al.*, (2020) verificaram que a DIT polarizada e limiar melhoraram o desempenho no contrarrelógio e os parâmetros fisiológicos em comparação com o *baseline*. Também observou-se que diversos estudos randomizados utilizaram protocolos de treinamento que visavam aumentar a intensidade por meio da prescrição de cargas de trabalho intensivas (ENOKSEN; SHALFAWI; TØNNESSEN, 2011), aumentando as sessões de treinamento intervalado de alta intensidade (BILLAT *et al.*, 1999; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018) e *CrossFit*® (CARNES; MAHONEY, 2019). Embora Enoksen; Shalfawi; Tønnessen, (2011) tenham demonstrado melhorias significativas na $v\text{VO}_2\text{máx}$ no grupo de corredores que realizaram *HIGH* em comparação com *LOW* e Carnes; Mahoney (2019) observaram um tempo menor para terminar o contrarrelógio no grupo *CrossFit*® em comparação com a DIT polarizada, a maioria dos estudos não encontraram mudanças significativas nos parâmetros laboratoriais e de desempenho ao comparar o treinamento de alta intensidade com modelos em baixa intensidade e polarizados (BILLAT *et al.*, 1999; FESTA *et al.*, 2020; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018). Esses achados podem indicar que o aumento exagerado no treinamento de alta intensidade não conduz a melhorias significativas a longo prazo. Portanto, parece que as adaptações ao treinamento de alta intensidade ocorrem rapidamente e podem ser saturadas em volumes razoavelmente baixos de treinamento (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007). Adicionalmente, alguns estudos mostraram uma resposta individual mais positiva quando os atletas realizaram um treinamento de alto volume em baixa intensidade comparado ao treinamento intervalado de alta intensidade (DÜKING *et al.*, 2020; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018). De acordo com os estudos revisados, é possível que um treinamento de alto volume em baixa intensidade associado a um treinamento

de baixo volume no limiar e de alta intensidade parece ser a combinação mais adequada para atingir o desempenho de *endurance*. Uma limitação importante foi encontrada em alguns estudos randomizados onde o modelo de DIT caracterizado pelos autores como polarizado mostrou uma quantidade excessiva de treinamento na zona 2 (CARNES; MAHONEY, 2019; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018). Isso pode ser potencialmente importante porque uma DIT polarizada eficaz é necessariamente composta por uma alta proporção de treinamento em baixa intensidade (BOULLOSA; ESTEVE-LANAO; SEILER, 2019). Assim, é possível que nesses estudos (CARNES; MAHONEY, 2019; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018) os atletas realizaram uma alta proporção de treinamento em alta intensidade. Essa circunstância inviabiliza a comparação dos modelos de DIT encontrados nesses estudos com os disponíveis na literatura atual e, portanto, seus resultados não podem ser extrapolados.

A presente revisão sistemática também possui limitações importantes que são inerentes às diferenças encontradas nos estudos apresentados. Em primeiro lugar, embora a literatura atual destaque a predominância dos modelos de DIT piramidal, limiar e polarizado, é importante considerar que essa predominância provavelmente ocorre devido às características dos métodos de quantificação utilizados. Essa limitação dificulta o estabelecimento de conclusões concretas, uma vez que os estudos analisaram métodos de quantificação de DIT bastante diversificados. Em segundo lugar, a DIT e o volume total de treinamento dos corredores de média e longa distância foram analisados em conjunto. Embora reconheçamos que os dois grupos organizam suas sessões de treinamento de forma muito diferente, apenas quatro dos 17 estudos selecionados para a revisão sistemática incluíram corredores de média distância em sua amostra (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; BILLAT *et al.*, 1999; GALBRAITH; HOPKER; CARDINALE; *et al.*, 2014; KENNEALLY *et al.*, 2020), o que dificultou a análise dos grupos separadamente. E, finalmente, o modelo de três zonas frequentemente utilizado para quantificar a DIT nos estudos analisados não permite contabilizar as diferenças importantes na carga de treinamento dentro de cada zona, especialmente na zona 3. Essa questão foi recentemente destacada em um estudo recente que sugere que esse modelo é falho em não considerar as linearidades na resposta biológica ao estresse (RENFREE; CASADO; MCLAREN, 2021).

2.5 CONCLUSÕES

A evidência atual indica que a DIT pode ser substancialmente influenciada pelo método utilizado para sua quantificação (isto é, velocidade de corrida, ritmo de corrida, FC e PSE-sessão). As zonas 2 e 3 parecem ser as mais afetadas quando a FC é utilizada como método de quantificação da DIT devido à presença de treinamento intervalado na intensidade do limiar anaeróbio e treinamento intervalado de alta intensidade. Entretanto, a zona 1 parece ser menos afetada pelos métodos de quantificação da DIT. Considerando que há evidências de que as DITs piramidal e polarizada produzem uma melhora acentuada no desempenho de *endurance* que a DIT no limiar, é possível que um alto volume de treinamento em baixa intensidade ($\geq 70\%$) combinado com um baixo volume de treinamento intervalado em alta intensidade e no limiar ($\leq 30\%$) seja necessário para atingir o desempenho máximo de corrida e reduzir os riscos de *non-functional overreaching*, *overtraining* e lesões. Além disso, estudos futuros não devem tentar encontrar um "modelo ideal de DIT", mas a aplicação dos modelos existentes nas diferentes fases da temporada esportiva no contexto das distintas distâncias alvo de corrida (ou seja, de 800 m à maratona).

3 ESTUDO 2 – ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO E DESEMPENHO NO CONTRARRELÓGIO EM CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO OBJETIVO VS. SUBJETIVO

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Comparar a distribuição da intensidade do treinamento entre os métodos de quantificação velocidade de corrida e percepção subjetiva de esforço da sessão.
- II. Avaliar o efeito de 8 semanas utilizando uma distribuição da intensidade do treinamento polarizada no desempenho do contrarrelógio de 10 km em corredores de longa distância recreacionalmente treinados.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 PARTICIPANTES

Vinte e quatro corredores de longa distância recreacionalmente treinados (média \pm DP: idade = $42,06 \pm 6,22$ anos, estatura = $1,78 \pm 0,07$ m, massa corporal = $75,81 \pm 6,51$ kg, $LV_1 = 12,16 \pm 0,96$ km·h⁻¹, $LV_2 = 15,80 \pm 0,91$ km·h⁻¹, $vVO_{2pico} = 18,62 \pm 0,86$ km·h⁻¹, $VO_{2pico} = 56,95 \pm 7,04$ mL·kg⁻¹·min⁻¹) foram recrutados em um clube de corredores em Madrid, Espanha. Para serem incluídos no estudo, os participantes deveriam atender aos seguintes critérios: (a) experiência anterior de pelo menos 2 anos ininterruptos em treinamento de corrida, (b) ausência de doença diagnosticada ou histórico familiar de primeiro grau de acidente vascular encefálico, (c) ausência de distúrbios musculoesqueléticos que comprometessem a técnica de corrida; e (d) não ter consumido nenhum auxílio ergogênico nos 3 meses anteriores ao início do estudo. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento previamente aprovado pelo comitê de ética (CAAE: 03910018.1.0000.5148) de acordo com a Declaração de Helsinque.

3.2.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Os dados de treinamento foram coletados por um período de 8 semanas durante a fase de preparação geral. Na semana anterior ao início do período de monitoramento do treinamento, todos os participantes realizaram um teste de exercício graduado em uma esteira para determinar as três zonas de treinamento. Posteriormente, essas zonas de treinamento foram prescritas com base no LV_1 e LV_2 . Após 8 semanas de treinamento, a DIT (ou seja, o tempo total gasto e sua porcentagem em cada zona de treinamento) de todas as sessões realizadas pelos corredores foram quantificadas através da velocidade de corrida associada aos limiares ventilatórios (ou seja, zona 1: $<LV_1$, zona 2: entre LV_1 e LV_2 , zona 3: $>LV_2$) e PSE-sessão (ou seja, zona 1: <4 , zona 2: entre 4 e 7, zona 3: >7). Além disso, antes e após as 8 semanas de treinamento, os participantes realizaram um contrarrelógio de 10 km.

3.2.3 TESTE LABORATORIAL PARA DETERMINAR AS ZONAS DE TREINAMENTO

O consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) foi medido usando um analisador de gases (Ergocard, Medisoft®, Sorinnes, Bélgica) durante um teste de exercício graduado máximo realizado em uma esteira ergométrica motorizada (Pulsar 3p, HP Cosmos®, Nussdorf, Alemanha). Antes do início do teste de exercício graduado, os participantes realizaram um aquecimento específico de 5 min a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Após um intervalo de recuperação de 3 min, o teste graduado foi iniciado a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, aumentando $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a cada minuto até a exaustão voluntária (ou seja, o participante não conseguiu continuar correndo), mantendo uma inclinação constante de 1% (JONES; DOUST, 1996). O gás exalado foi coletado respiração a respiração e a frequência cardíaca (V800, Polar Electro Oy®, Kempele, Finlândia) foi monitorada durante todo o teste de exercício graduado. O analisador de gás foi previamente calibrado com uma seringa de 3 litros (3800, Hans Rudolph®, Kansas, EUA) e um cilindro de gás contendo 12% de O_2 e 5% de CO_2 (Linde®, Valencia, Espanha) de acordo com as recomendações do fabricante. O VO_{2pico} foi considerado o valor máximo obtido durante o teste incremental, medido em uma média de intervalos de 15 segundos, e quando pelo menos 2 dos seguintes critérios foram atendidos: (a) razão de troca respiratória $\geq 1,15$ (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007), (b) frequência cardíaca máxima ($FC_{m\acute{a}x}$) $\geq 100\%$ da $FC_{m\acute{a}x}$ predita através da equação baseada na idade para corredores treinados [$206 - 0,7 \times \text{idade}$] (TANAKA; MONAHAN; SEALS, 2001), e (c) percepção subjetiva de esforço máxima ≥ 18 na escala de Borg 6-20 (BORG, 1982).

Embora todos os participantes tenham realizado o teste de exercício graduado até a exaustão voluntária, o denominamos como “VO₂pico” ao invés de “VO₂máx” porque não realizamos um teste confirmatório na esteira ergométrica em uma velocidade de corrida mais alta (POOLE; JONES, 2017). O LV₁ foi determinado a partir do aumento nos equivalentes de oxigênio ventilatório (VE·VO₂⁻¹) e pressão parcial expirada de oxigênio (PETO₂) sem o aumento do dióxido de carbono (VE·CO₂⁻¹), enquanto LV₂ foi determinado a partir dos equivalentes respiratórios VE·VO₂⁻¹ e VE·CO₂⁻¹ e uma diminuição na pressão parcial expirada de dióxido de carbono (PETCO₂) (LUCÍA *et al.*, 2000). Dois observadores independentes detectaram LV₁ e LV₂. Caso houvesse discordância, obtinha-se a opinião de um terceiro observador (LUCÍA *et al.*, 2000).

3.2.4 DESEMPENHO NO CONTRARRELÓGIO DE 10 KM

Os participantes realizaram um contrarrelógio de 10 km em um circuito plano de 2 km com superfície coberta por asfalto no horário semelhante aos que costumavam usar para conduzir suas sessões de treinamento. Antes dos testes no contrarrelógio, os participantes realizaram um aquecimento específico de 10 min em um ritmo auto selecionado. Ao longo dos testes, os participantes foram estimulados a atingir o seu melhor desempenho e não receberam informações sobre o tempo de corrida e a distância que pudessem interferir em suas estratégias de ritmo.

3.2.5 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS SESSÕES DE TREINAMENTO DURANTE AS 8 SEMANAS DE INTERVENÇÃO

O treinamento foi planejado para atingir uma distribuição percentual total nas zonas 1, 2 e 3 de ~ 80/5/15 com base na velocidade de corrida associada aos limiares ventilatórios seguindo uma DIT polarizada (MUÑOZ *et al.*, 2014). A tabela 7 mostra os tipos e características das sessões de treinamento realizadas ao longo das 8 semanas de intervenção.

Tabela 7 – Características das sessões de treinamento realizadas durante as 8 semanas de intervenção

Zona de Treinamento	Tipo de Treinamento	Características do Treinamento
1	Corridas fáceis	Sessões de treinamento em baixa intensidade caracterizadas por corridas contínuas
2	Treinamento no limiar	Sessões de treinamento em intensidade moderada caracterizadas por corridas contínuas realizadas próximas ao limiar anaeróbio
3	Treinamento intervalado longo	Sessões de treinamento realizadas em alta intensidade combinando distâncias entre 1000 e 3000 m com intervalo de recuperação entre os “tiros”
3	Treinamento intervalado curto	Sessões de treinamento realizadas em alta intensidade combinando distâncias entre 500 e 800 m com intervalo de recuperação entre os “tiros”
3	Treinamento de <i>sprints</i> repetidos	Sessões de treinamento realizadas em alta intensidade combinando distâncias entre 60 e 100m com intervalo de recuperação entre os “ <i>sprints</i> ”
3	<i>Fartlek</i>	Sessões de treinamento contínuo com mudanças no ritmo de corrida

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: zona 1, $\leq LV_1$; $LV_1 < \text{zona 2} < LV_2$; e zona 3 $\geq LV_2$.

3.2.7 ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO TREINAMENTO

Velocidade de Corrida

O tempo de treinamento gasto em cada uma das três zonas de treinamento derivados dos dados da velocidade de corrida foram coletados dos relógios de corrida GPS dos participantes. Posteriormente, os dados coletados foram distribuídos em relação à velocidade de corrida associada aos limiares ventilatórios obtidos previamente durante o teste de exercício graduado. Então, três zonas: zona 1, $\leq LV_1$; $LV_1 < \text{zona 2} < LV_2$; e zona 3, $\geq LV_2$ foram utilizadas como uma medida objetiva de quantificação da DIT.

Percepção Subjetiva de Esforço da Sessão de Treinamento

Os participantes receberam um diário de treinamento no qual foram instruídos a relatar sua classificação de esforço percebido para toda a sessão de treinamento utilizando a escala de Borg com proporção de categorias de 0 a 10 (CR10) (BORG, 1982) modificada por Foster *et al.*, (1996) e Foster (1998) 30 min após o final de cada sessão de treinamento. A PSE-sessão

reportada pelos participantes para cada sessão de treinamento foi distribuída em três zonas: zona 1, ≤ 4 ; $4 < \text{zona 2} < 7$; e zona 3 ≥ 7 , proposta por Seiler; Kjerland (2006), e então utilizada como uma medida subjetiva de quantificação da DIT.

3.2.8 QUANTIFICAÇÃO DA CARGA DE TREINAMENTO

A “carga” de cada sessão de treinamento foi calculada multiplicando a duração do treinamento (minutos) pela intensidade de 0 a 10 (CR10) (BORG, 1982) resultando em uma única unidade arbitrária (AU) chamada de impulso de treinamento (TRIMP) de acordo com Foster *et al.*, (2001).

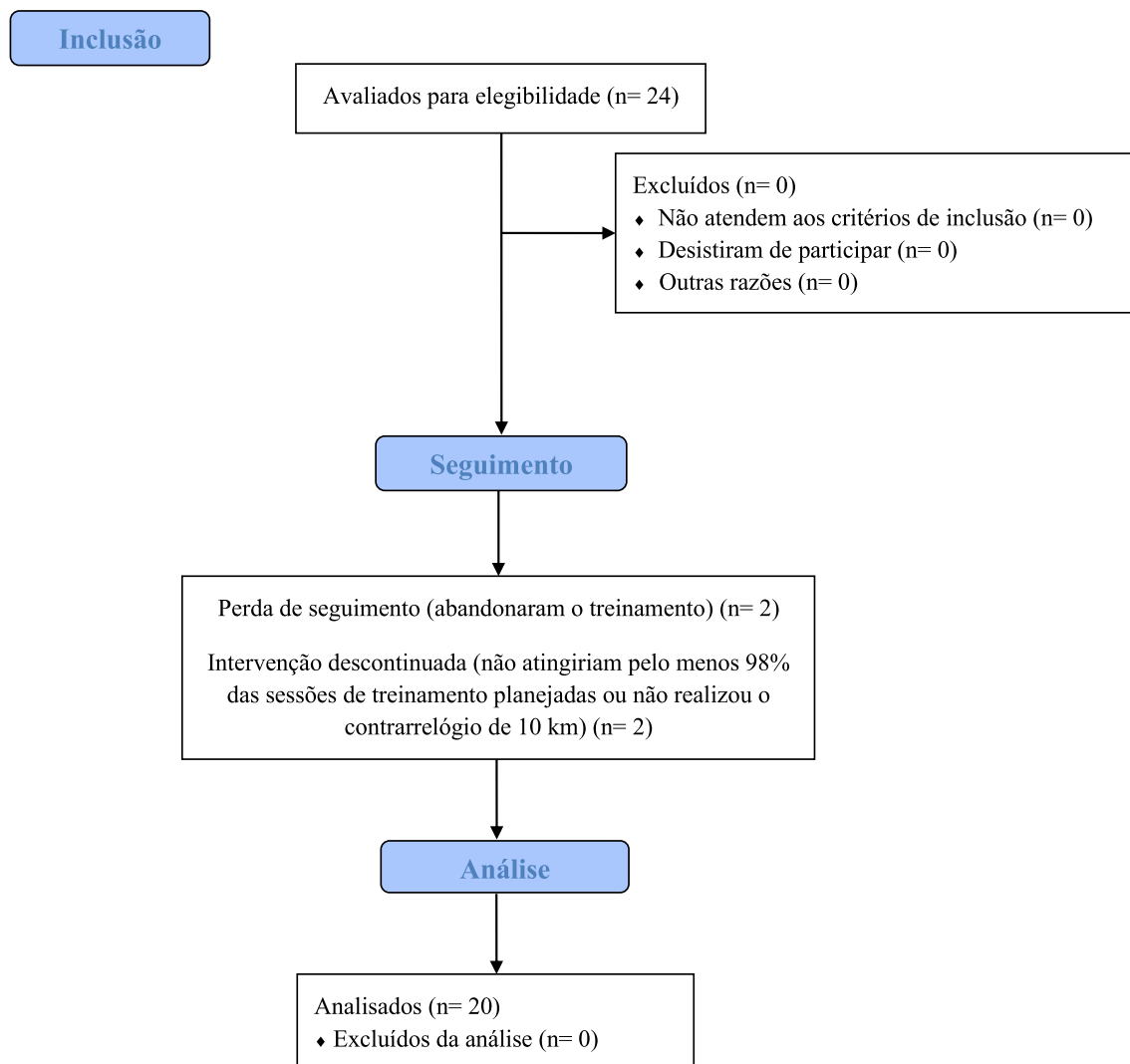
3.2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados do estudo foram relatados como média \pm desvio padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%). Os testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene* foram usados para verificar a normalidade e homogeneidade das variâncias. Uma vez que a homogeneidade e normalidade das variâncias foram confirmadas, o teste *t* para amostras dependentes foi usado para comparar o tempo relativo total gasto em cada zona de treinamento entre a velocidade de corrida e a PSE-sessão. Uma *ANOVA one-way* com *post-hoc* de Bonferroni foi aplicado para comparar o tempo total gasto em minutos entre as três zonas de treinamento através da velocidade de corrida e a PSE-sessão. Um teste *t* para amostras dependentes também foi usado para comparar o desempenho no contrarrelógio de 10 km (segundos) entre o pré e pós-treinamento. O tamanho do efeito (TE) foi calculado de acordo com o teste de Cohen (*d*), utilizando a fórmula: $d = [(m\acute{e}dia \text{ do grupo } 1 - m\acute{e}dia \text{ do grupo } 2) / \text{desvio padr\~{a}o}]$. As categorias de Cohen usadas para avaliar a magnitude do TE foram: pequeno = $0 \leq [d] \leq 0,5$; m\acute{e}dio = $0,5 < [d] \leq 0,8$; e grande = $[d] > 0,8$. Todos os testes estatísticos foram realizados com o software SPSS (25.0, IBM, Armonk, EUA). O pacote Prism 8 foi usado para construir as figuras (GraphPad®, San Diego, EUA). O n\acute{ı}vel de signific\~{a}ncia foi estabelecido em $p \leq 0,05$.

3.3 RESULTADOS

Apenas os participantes que atenderam aos seguintes critérios foram incluídos nos resultados do estudo: (a) conclusão de pelo menos 98% de todas as sessões de treinamento planejadas, (b) registros completos dos diários de treinamento contendo a PSE-sessão e duração do treinamento (minutos) em todas as sessões de treinamento realizadas, (c) ausência de sinais ou sintomas de *overtraining* durante todo o período de treinamento, e (d) realização do teste de 10km no contrarrelógio antes e depois da intervenção (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; MUÑOZ *et al.*, 2014). Por não se enquadrarem dentro desses critérios preestabelecidos, quatro participantes foram excluídos do presente estudo, restando ao todo 20 participantes.

Figura 3 – Fluxograma de registro dos participantes



A tabela 8 mostra as características do treinamento dos participantes durante o período de treinamento de 8 semanas.

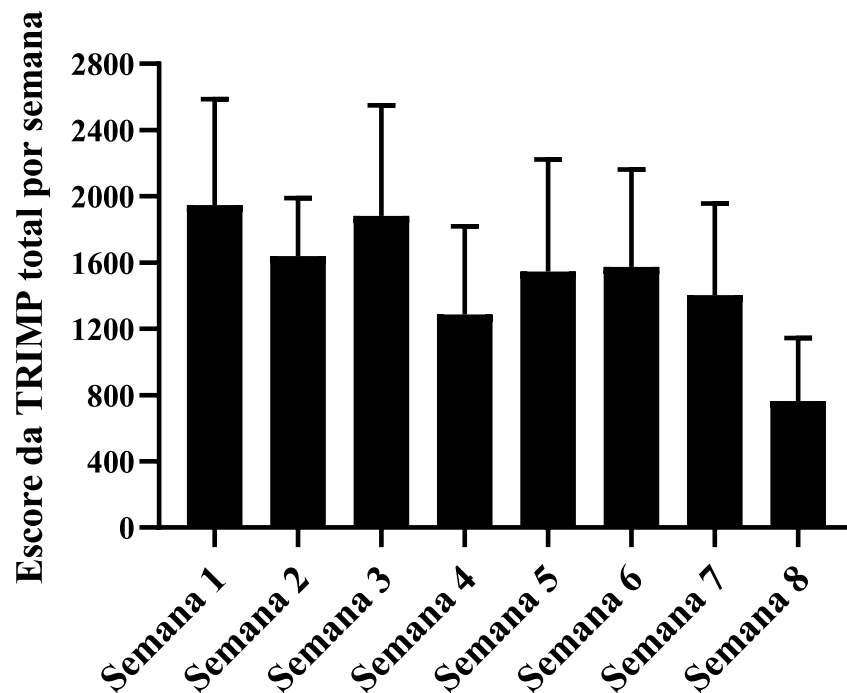
Tabela 8 – Características fisiológicas e treinamento dos participantes (média \pm DP).

Variáveis	Características
TRIMPs total (U.A.)	11821 \pm 2302
TRIMP \cdot semana ⁻¹ média (U.A.)	1526 \pm 282
Distância total de treinamento (km)	381,91 \pm 45,61
Volume total de treinamento (km \cdot semana ⁻¹)	49,30 \pm 5,01
Número total de sessões de treinamento (n)	31 \pm 4,48
Média semanal de sessões de treinamento (n)	3,99 \pm 0,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A figura 4 mostra o impulso médio de treinamento (TRIMP) (semana a semana) de todos os participantes (n=20) durante o período de treinamento de 8 semanas.

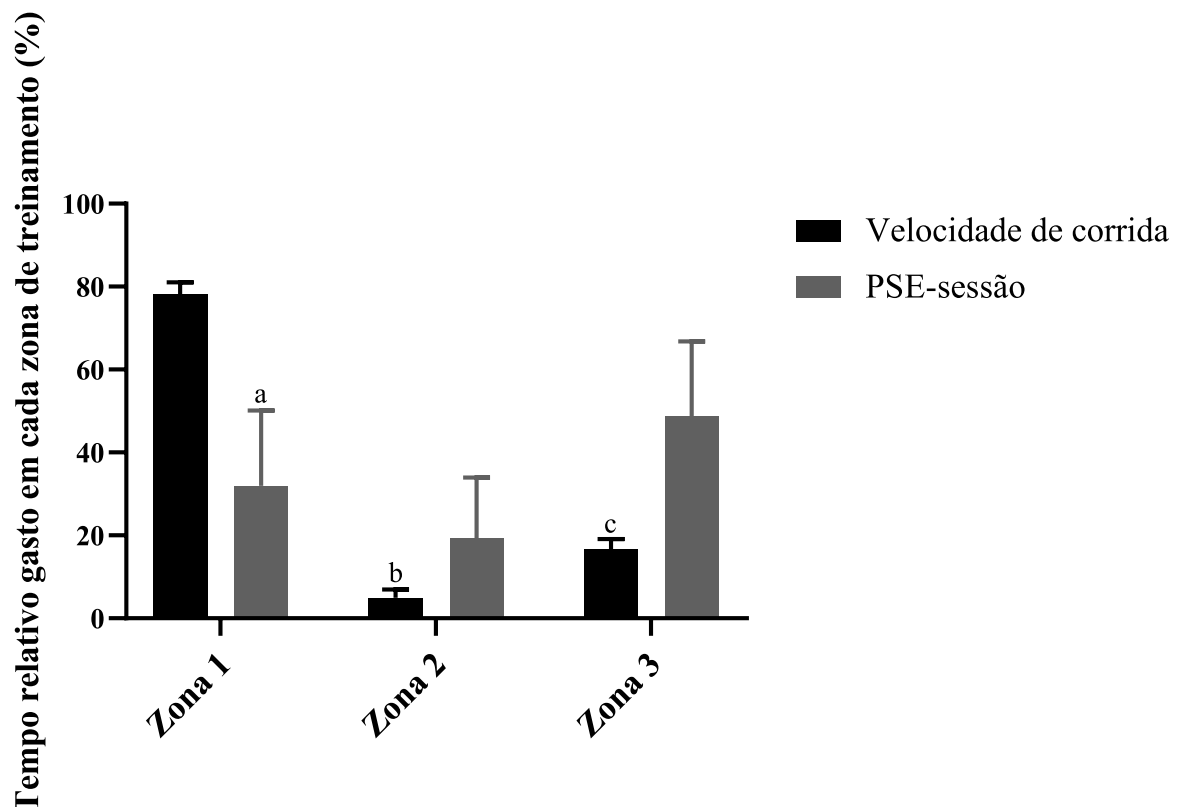
Figura 4 – Representação esquemática do impulso médio de treinamento (TRIMP) dos participantes durante o período de treinamento de 8 semanas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A figura 5 mostra a DIT onde a velocidade de corrida e a PSE-sessão foram usadas como métodos de quantificação durante o período de treinamento de 8 semanas. A velocidade de corrida resultou em uma DIT polarizada com $78,09 \pm 2,92\%$, $4,97 \pm 1,97\%$ e $16,71 \pm 2,37\%$ do tempo total gasto nas zonas 1, 2 e 3, respectivamente. Por outro lado, a PSE-sessão resultou em uma DIT de alta intensidade com $31,92 \pm 18,20\%$, $19,29 \pm 14,63\%$ e $48,74 \pm 18,08\%$ do tempo total gasto nas zonas 1, 2 e 3, respectivamente. A velocidade de corrida demonstrou um tempo substancialmente maior gasto na zona 1 em comparação com a PSE-sessão (IC 95%: 37,78 a 54,54, TE: 3,54, grande, $p < 0,001$), enquanto a PSE-sessão demonstrou um tempo substancialmente maior gasto na zona 2 (95% CI: -21,43 a -7,21, TE: 1,41, grande, $p < 0,001$) e zona 3 (IC 95%: -40,50 a -23,45, TE: 2,48, grande, $p < 0,001$) em comparação com a velocidade de corrida.

Figura 5 – Comparação do tempo relativo gasto em cada zona de treinamento entre a velocidade de corrida e a percepção subjetiva de esforço da sessão durante o período de treinamento de 8 semanas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: $^a p < 0,05$; diferença significativa entre a velocidade de corrida e a PSE-sessão. b , $^c p < 0,05$; diferença significativa entre a PSE-sessão e a velocidade da corrida.

A tabela 9 mostra a comparação do tempo total de treinamento despendido entre as três zonas de treinamento no qual a velocidade de corrida e a PSE-sessão foram usadas como métodos de quantificação. Para a velocidade de corrida, os resultados mostraram um tempo substancialmente maior gasto na zona 1 que na zona 2 (IC 95%: 1303,04 a 1505,95; TE: 9,24; grande; $p < 0,001$) e zona 3 (IC 95%: 1076,99 a 1279,90; TE: 7,54; grande; $p < 0,001$). Além disso, passou-se mais tempo na zona 3 em comparação com a zona 2 (IC 95%: 124,59 a 327,50; TE: 3,92, grande, $p < 0,001$). Para a PSE-sessão, os resultados mostraram maior tempo gasto na zona 3 que na zona 1 (IC 95%: 43,86 a 579,04; TE: 0,85; grande; $p = 0,017$) e zona 2 (IC 95%: 287,96 a 823,14; TE: 1,66; grande; $p < 0,001$). Além disso, passou-se mais tempo na zona 1 em comparação com a zona 2, embora essa diferença não tenha sido significativa (IC 95%: -23,49 a 511,69; TE: 0,73; médio; $p = 0,085$).

Tabela 9 – Comparação do tempo total de treinamento gasto entre as diferentes zonas ao longo do período de treinamento de 8 semanas.

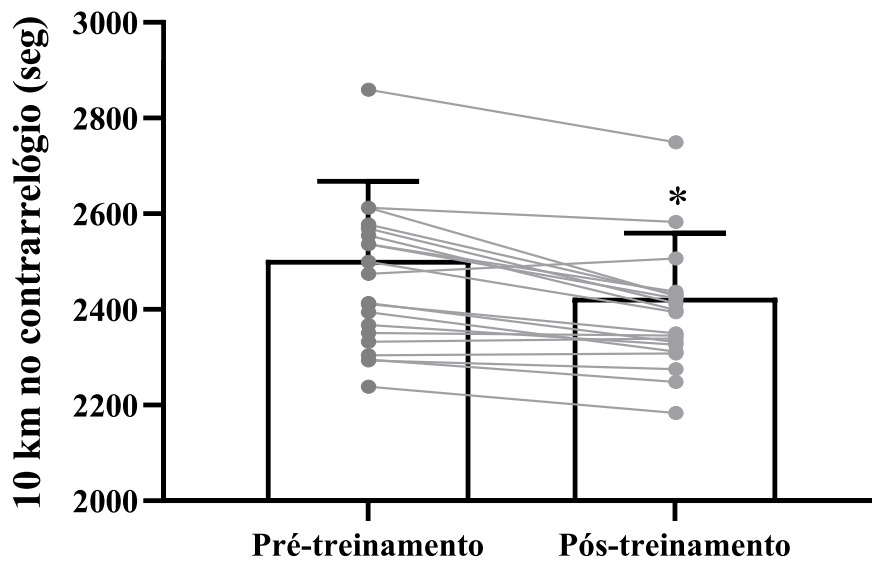
Tempo gasto em cada zona de treinamento (min)			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidade de corrida	1502 ± 210	98 ± 45 ^{a, c}	324 ± 68 ^b
PSE-sessão	615 ± 36 ^d	371 ± 279 ^e	926 ± 365

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: Velocidade de corrida: ^a $p \leq 0,05$, diferença significativa entre a zona 1 e a zona 2. ^b $p \leq 0,05$, diferença significativa entre a zona 1 e a zona 3. ^c $p \leq 0,05$, diferença significativa entre a zona 3 e a zona 2. PSE-sessão: ^d $p \leq 0,05$; diferença significativa entre a zona 3 e a zona 1. ^e $p \leq 0,05$; diferença significativa entre a zona 3 e a Zona 2.

A figura 6 mostra a média do grupo e os valores individuais do desempenho no contrarrelógio de 10 km entre o pré e o pós-treinamento [2504 ± 164 vs. 2425 ± 135 (seg)]. Uma melhora significativa no desempenho foi observada após uma DIT polarizada de 8 semanas (IC 95%: 47,88 a 110,55; TE: 0,52; médio, $p < 0,001$).

Figura 6 – Desempenho no contrarrelógio de 10 km entre o pré- e pós-treinamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: * $p \leq 0,05$; diferença significativa entre pré- e pós-treinamento.

3.4 DISCUSSÃO

Os principais resultados do presente estudo indicam que o modelo de DIT pode ser substancialmente afetado pelo método utilizado para sua quantificação. Além disso, um período de 8 semanas com um modelo de treinamento polarizado melhorou o desempenho no contrarrelógio de 10 km em corredores de longa distância recreacionalmente treinados.

Estudos atuais têm mostrado que métodos objetivos e subjetivos podem influenciar o tempo de treinamento despendido nas três zonas de intensidade do exercício e, conseqüentemente, o modelo de DIT quantificado (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; MANZI *et al.*, 2015; SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017). Nesse sentido, nossos resultados demonstraram que a PSE-sessão produziu menor tempo total de treinamento gasto na zona 1 em comparação com a velocidade de corrida. Por outro lado, a PSE-sessão apresentou maior tempo total de treinamento despendido nas zonas 2 e 3 em comparação com a velocidade de corrida. Essas particularidades existentes entre os métodos de quantificação conduziram a uma DIT polarizada através da velocidade de corrida (78,09%, 4,97%, 16,71%), enquanto a PSE-sessão produziu uma DIT de alta intensidade (31,92%, 19,29%, 48,74%). Nossos

resultados são consistentes com estudos anteriores que compararam métodos objetivos (ou seja, velocidade de corrida e potência crítica) e subjetivos (ou seja, PSE-sessão) em corredores de média distância (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020) e ciclistas competitivos de estrada (SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017). Desse modo, parece que a menor quantidade de treinamento quantificada na zona 1 através da PSE-sessão em comparação com a velocidade de corrida pode estar relacionada ao fato de que esse método de quantificação pode ser influenciado pela duração da sessão de treinamento. Nessa linha, Foster *et al.*, (2001) observaram que a PSE-sessão reportada após uma sessão de treinamento de 90 min realizada em *steady-state* aumentou a PSE-sessão em ~10% em comparação com uma sessão de treinamento de 30 min na mesma intensidade de exercício (BARROSO *et al.*, 2015). Dessa forma, mesmo que as intensidades de exercício abaixo do LL_1/LV_1 (ou seja, zona 1) atinjam um *steady-state* na cinética do VO_2 e lactato sanguíneo dentro de 2 a 3 min (GALÁN-RIOJA *et al.*, 2020), a PSE-sessão pode continuar aumentando durante as sessões de treinamento mais prolongadas. Nesse sentido, Fusco; Knutson; *et al.*, (2020) observaram um aumento progressivo nos escores da PSE-sessão, apesar dos valores relativamente constantes do ritmo, FC e lactato sanguíneo durante uma sessão de treinamento de natação prolongada. Portanto, é provável que corredores de longa distância possam perceber suas sessões de treinamento contínuo em baixa intensidade inicialmente prescritas na zona 1, nas zonas 2 ou 3 quando a duração da sessão de treinamento é muito longa, possivelmente devido a uma depleção progressiva das reservas de glicogênio muscular (FUSCO; SUSTERCICH; *et al.*, 2020; MENZIES *et al.*, 2020).

Embora a velocidade de corrida forneça informações importantes sobre a carga externa de treinamento (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2019), ela se apresenta como uma ferramenta pobre para avaliar a carga interna de treinamento, que é o principal índice para verificar os prováveis resultados do treinamento (FOSTER *et al.*, 2021). Assim, a velocidade de corrida pode ser um método objetivo bem ajustado ao treinamento prescrito pelo técnico devido à sua resposta cinética direta aos aumentos da carga de trabalho durante as diferentes sessões de treinamento. Porém, é importante destacar a imperfeição das abordagens que consideram apenas as velocidades absolutas para a prescrição e quantificação do treinamento. Nesse contexto, um dos principais problemas da prescrição de treinamento com base nas velocidades absolutas associadas aos limiares ventilatórios e de lactato durante um teste de exercício graduado é que os atletas geralmente são avaliados em situações controladas que podem não coincidir com as sessões de treinamento onde a fadiga se acumula progressivamente devido a fatores como inclinação do terreno, climatologia e desidratação. Consequentemente, uma carga de trabalho específica obtida durante um teste incremental irá "flutuar" além do

escopo pretendido conforme o exercício é sustentado durante o treinamento (FOSTER *et al.*, 2020). Dadas essas limitações, é necessário incluir métodos subjetivos para ajustar a carga de trabalho em tempo real durante o treinamento, bem como quantificá-la. Nesse sentido, a PSE-sessão pode ser uma ferramenta mais sensível para detectar mudanças em fatores externos, como volume e duração do treinamento (FUSCO; KNUTSON; *et al.*, 2020; SWART *et al.*, 2009), fornecendo informações complementares sobre a fadiga acumulada ao longo de vários dias de treinamento (FUSCO; KNUTSON; *et al.*, 2020). Desse modo, se um atleta de resistência tiver alguma fadiga acumulada das sessões de treinamento anteriores, ele/ela possivelmente relatará pontuações aumentadas da PSE-sessão (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020), enquanto outras medidas de carga interna e externa provavelmente permanecerão inalteradas (FUSCO; SUSTERCICH; *et al.*, 2020). Além disso, para melhorar a precisão da quantificação em sessões de treinamento intervalado de alta intensidade e *tempo runs*, os treinadores podem coletar a PSE-sessão dos componentes principais das sessões de treinamento (ou seja, após o aquecimento, sessão principal e *cooldown*) separadamente (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; FOSTER *et al.*, 2021) e, posteriormente, calcular a PSE-sessão a partir da média dos escores desses componentes. Ainda que a PSE-sessão utilizada por Seiler; Kjerland (2006) seja um método atrativo para os treinadores durante o treinamento diário, essa abordagem apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Barroso *et al.*, (2015) reportaram que a PSE-sessão obtida através da velocidade crítica (ou seja, próxima ao LV_2) que deveria corresponder a uma PSE-sessão próxima a 7 de acordo com Seiler; Kjerland (2006), variou entre o LV_1 (ou seja, ≤ 4) até o LV_2 (ou seja, ≥ 7) em nadadores moderadamente treinados. Esses resultados ainda podem ser parcialmente reforçados pelo estudo de Campos *et al.*, (2021) que utilizando a escala OMNI-Walk-Run para prever o limiar anaeróbio (ou seja, LL_2) em corredores de longa distância, verificaram que a PSE para esta intensidade de exercício produziu escores médios de 5,75 UA, porém, com um desvio padrão de 1,42 UA. Desse modo, parece que a forma como os atletas percebem as zonas de intensidade do treinamento pode ser bastante particular e individualizada fugindo dos escores propostos por Seiler; Kjerland (2006) para quantificar a DIT. Portanto, encorajamos os treinadores a utilizar sistematicamente as escalas de percepção do esforço durante os testes de exercício graduado, bem como no dia a dia de treinamento para garantir o ajuste das zonas de intensidade do treinamento e a precisão da quantificação da DIT baseada na PSE-sessão. Outro aspecto importante é que quantificação da carga de treinamento pode ser tendenciosa para sessões de longa duração realizadas em baixa intensidade e subestimar a carga externa aplicada em sessões de treinamento intervalado de alta intensidade ou *sprints* (RENFREE; CASADO;

MCLAREN, 2021). Como nenhuma métrica de carga treinamento pode unicamente diferenciar o estresse imposto por uma determinada sessão de treinamento, uma abordagem multivariável que englobe medidas fisiológicas (ou seja, derivadas da frequência cardíaca), psicológicas (ou seja, avaliação do esforço percebido) e externas (ou seja, velocidade de corrida) devem ser empregadas para quantificar melhor o treinamento (BELLINGER, 2021). Além disso, outras métricas biomecânicas que considerem a carga acumulativa dos membros inferiores devem ser futuramente estudadas e validadas para aprimorar a quantificação do estresse tecidual associado as sessões de treinamento intervalado de alta intensidade e *sprints* (PAQUETTE *et al.*, 2020).

Inúmeras evidências têm sugerido que o melhor desempenho de corrida pode ser alcançado utilizando uma combinação de sessões de treinamento com alto volume em baixa intensidade (ou seja, 75-80% do volume total de treinamento realizado na zona 1) e baixo volume em alta intensidade (ou seja, 15-20% do volume total de treinamento realizado nas zonas 2 e 3) (CARNES; MAHONEY, 2019; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014). Essa combinação permite construir uma base fisiológica sólida para o treinamento de endurance, aumentando a taxa de oxidação do lactato (GONZÁLEZ-MOHÍNO *et al.*, 2016) e a utilização de lipídeos como substrato energético (HOROWITZ; KLEIN, 2000), melhorando os aspectos morfológicos e funcionais das mitocôndrias (SAUNDERS *et al.*, 2004) enquanto, simultaneamente, fornece a quantidade de treinamento necessário para desenvolver o potencial aeróbio das fibras do tipo II tornando-as mais resistentes à fadiga (BILLAT *et al.*, 2003; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005). Utilizando essa estrutura de treinamento por meio de um modelo polarizado, encontramos melhorias significativas no desempenho durante o contrarrelógio de 10 km que são compatíveis com estudos anteriores (CARNES; MAHONEY, 2019; FESTA *et al.*, 2020; MUÑOZ *et al.*, 2014; ZINNER; SCHÄFER; SPERLICH, 2018). O presente estudo também adiciona resultados individuais que reforçam a eficácia do treinamento polarizado, no qual 85% dos participantes foram capazes de melhorar seu desempenho no contrarrelógio de 10 km. No entanto, embora o treinamento intervalado de alta intensidade seja essencial para melhorar o desempenho em um modelo de treinamento polarizado, seu excesso pode aumentar as concentrações de norepinefrina no final das sessões de treinamento (BILLAT *et al.*, 1999) e, conseqüentemente, levar ao sistema nervoso simpático a longo prazo a um *downregulation* (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005), causando um desequilíbrio autonômico e hormonal (STÖGGL; SPERLICH, 2015). Assim, uma quantidade substancial de treinamento contínuo em baixa intensidade é necessária para diminuir o risco de *overtraining* e lesões (BILLAT *et al.*, 1999; CASADO; HANLEY; RUIZ-PÉREZ, 2020).

O presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser destacadas. Primeiramente, não foi possível disponibilizar o mesmo relógio de corrida GPS para os participantes. Entretanto, os relógios de corrida GPS comumente comercializados mostraram moderada a boa precisão em relação às distâncias registradas com um erro de medida variando entre 3,2 a 6,1% em áreas urbanas, florestas e pista de atletismo (GILGEN-AMMANN; SCHWEIZER; WYSS, 2020). Porém, destacamos que os participantes realizaram suas sessões de treinamento em um circuito plano de 2km em local aberto não urbanizado o que pode melhorar a precisão da medida (NIELSEN *et al.*, 2013). Além disso, durante as 8 semanas de acompanhamento os relógios de corrida GPS foram regularmente sincronizados com o aplicativo móvel ou computador para baixar os dados de satélite mais recentes conforme as recomendações do fabricante e garantir a qualidade de aquisição do sinal (GILGEN-AMMANN; SCHWEIZER; WYSS, 2020). Em segundo lugar, embora reconhecemos a importância da quantificação da DIT baseada na frequência cardíaca (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; MANZI *et al.*, 2015; SANDERS; MYERS; AKUBAT, 2017) não foi possível utilizá-la em nosso estudo porque vários participantes não possuíam relógios de corrida GPS com fotoplestigrafia de pulso ou faixa torácica para a medição da frequência cardíaca em tempo real.

3.5 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que o tempo total de treinamento gasto nas três zonas quantificadas pela PSE-sessão proporcionou um tempo de treinamento significativamente maior nas zonas de treinamento 2 e 3 em comparação com a velocidade de corrida. Em contraste, a PSE-sessão demonstrou menor tempo total de treinamento gasto na zona 1 em comparação com a velocidade de corrida. Esses resultados reforçam a ideia de que o método utilizado para quantificar a DIT pode afetar substancialmente o seu modelo. Além disso, é possível que as sessões prolongadas de treinamento contínuo em baixa intensidade possam fazer com que os corredores percebam seu treinamento nas zonas 2 e 3 quando a PSE-sessão é utilizada como método de quantificação da DIT. Complementarmente, o treinamento polarizado mostrou-se uma boa estratégia para aumentar o desempenho no contrarrelógio de 10 km durante um período de 8 semanas de treinamento em corredores de longa distância recreacionalmente treinados.

4 ESTUDO 3 – PREDIÇÃO DO LIMIAR ANAERÓBIO UTILIZANDO A ESCALA OMNI-WALK/RUN EM CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA: UM ESTUDO PRELIMINAR

Este artigo passou pelo processo de revisão por pares e está publicado no *International Journal of Sports Physiology and Performance* (Impact Factor 2020: 4.010 – Estrato A1 Qualis/CAPES). CAMPOS, Y. A. C.; VIANNA, J. M.; GUIMARÃES, M. P.; SOUZA, H. L. *et al.* Anaerobic threshold prediction using the OMNI-Walk/Run scale in long-distance runners: A preliminary study. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 16, n. 5, p. 727-730, 2021.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar o limiar anaeróbio através do limiar de lactato determinado pelo $D_{\text{máx}}$ ($LLD_{\text{máx}}$) e limiar de percepção subjetiva de esforço pelo $D_{\text{máx}}$ ($LPS_{\text{SED}_{\text{máx}}}$).
- II. Avaliar a correlação e a concordância entre o $LLD_{\text{máx}}$ e o $LPS_{\text{SED}_{\text{máx}}}$ durante um teste de exercício graduado realizado na esteira ergométrica em corredores de longa distância recreacionalmente treinados.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 PARTICIPANTES

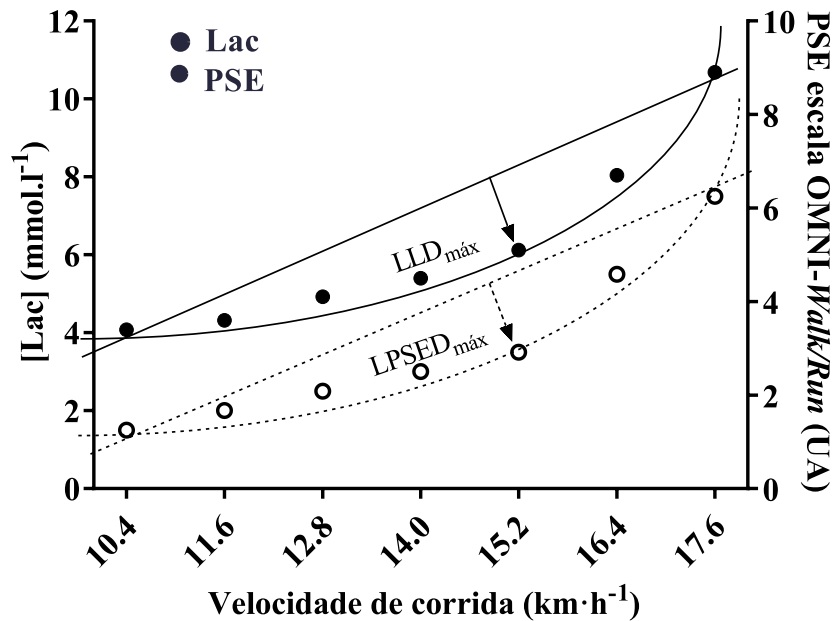
Dezesseis corredores de longa distância do sexo masculino (média \pm DP: idade = 27,28 \pm 2,54 anos; % de gordura corporal = 9,98 \pm 3,52%; altura = 1,78 \pm 0,05 m; massa corporal = 74,22 \pm 5,58 kg; melhor tempo em 5000 m = 21 min 28,7 seg \pm 1 min 24 seg; $VO_{2\text{máx}}$ = 50,91 \pm 5,42 mL \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹; experiência de treinamento = 3,26 \pm 0,89 anos) foram recrutados em clubes de atletismo locais. Antes do início do estudo, o tamanho da amostra foi estimado usando o pacote G*Power (Düsseldorf, Alemanha) (FAUL *et al.*, 2009), considerando um tamanho de efeito (f) = 0,5; potência ($1-\beta$) = 0,8; α = 0,05, o que resultou em uma amostra de 27 participantes. Como não foi possível atingir esse número de participantes com níveis de treinamento semelhantes, decidimos continuar com este estudo preliminar. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento aprovado pelo comitê de ética local

(CAAE: 53675416.3.0000.5148) de acordo com a Declaração de Helsinque.

4.2.2 PROCEDIMENTOS

Os participantes foram avaliados em quatro sessões separadas por um intervalo de 48 horas. Na primeira sessão, os participantes foram avaliados quanto à massa corporal, estatura, massa gorda e receberam instruções sobre todos os procedimentos que seriam adotados durante o experimento. Na segunda sessão, os participantes receberam instruções padronizadas e realizaram uma familiarização com a escala OMNI-*Walk/Run* (UTTER *et al.*, 2004) na esteira ergométrica. A escala foi ancorada através de uma combinação exercício e memória que tinha como objetivo principal fazer com que o participante estabelecesse cognitivamente a intensidade do esforço em consonância com os descritores visuais e numéricos da escala. Na terceira e quartas sessões, os participantes realizaram o teste de exercício graduado na esteira ergométrica para coleta das concentrações de lactato sanguíneo [Lac] ou PSE durante cada etapa do exercício, sendo a sequência das sessões randomizada entre os participantes. O teste de exercício graduado foi iniciado a uma velocidade de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e a cada estágio de 3 min foram adicionados $1,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ até a exaustão, com uma inclinação constante de 1%. Trinta segundos após o término de cada estágio, $25\mu\text{L}$ de sangue capilar foram coletados e analisados posteriormente em um analisador portátil (Accusport, Boehringer Mannheim – Roche Hawthorne, EUA). Durante o teste, a escala OMNI-*Walk/Run* foi sempre apresentada, e os participantes foram questionados sobre sua percepção de esforço, 30 seg após o término de cada etapa do teste de exercício graduado. A determinação do LL e da LPSE pelo método $D_{\text{máx}}$ seguiu as recomendações propostas no estudo de Fabre *et al.*, (2013) realizado com o *software* MATLAB (9.0, MathWorks, Natick, MA, EUA) (figura 7).

Figura 7 – Exemplo de determinação do limiar de lactato e limiar de percepção subjetiva de esforço pelo método $D_{\text{máx}}$.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: PSE: percepção subjetiva de esforço; Lac: concentrações de lactato sanguíneo; LPSED_{máx}: limiar de percepção subjetiva de esforço pelo método $D_{\text{máx}}$; LLD_{máx}: limiar de lactato pelo método $D_{\text{máx}}$.

4.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados do estudo foram relatados como média \pm desvio padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%). O teste de *Shapiro-Wilk* foi adotado para verificar a normalidade da variância. Confirmada a suposição de normalidade da variância, um teste *t* para amostras dependentes foi usado para comparar as velocidades de corrida (km·h⁻¹) onde o LLD_{máx} e o LPSED_{máx} foram determinados. O tamanho do efeito (TE) foi calculado de acordo com Cohen (*d*). O TE foi avaliado usando os seguintes critérios: 0-0,2 trivial; 0,2-0,6 pequeno; 0,6-1,2 moderado; 1,2-2,0 grande; e $> 2,0$ muito grande. Uma correlação de *Pearson* foi aplicada para verificar a relação entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx}. Os limites de concordância de 95% e o gráfico de *Bland-Altman* foram calculados para avaliar a concordância entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx} no teste de exercício graduado. Para verificar a relação entre a diferença e a média dos métodos foi aplicada uma regressão linear. Um teste *t* simples foi utilizado para comparar os valores médios do valor de viés com 0 para verificar sua proporcionalidade. O nível de significância foi estabelecido em $p \leq 0,05$ utilizando o software estatístico SPSS para a análise (25.0, IBM, Armonk, EUA).

4.3 RESULTADOS

O tempo médio de exaustão durante os testes de exercício graduado foi de 21,8 min \pm 3,7 min, atingindo uma velocidade máxima média de 17,22 \pm 1,62 km·h⁻¹. O valor médio máximo das [Lac] foi 9,41 \pm 1,94 mmol·l⁻¹. O valor médio máximo da PSE foi 9,65 \pm 0,49 UA. O valor médio correspondente as [Lac] no limiar anaeróbio (LAn) foi de 4,23 \pm 1,15 mmol·l⁻¹. O valor médio correspondente a PSE no LAn foi 5,75 \pm 1,42 UA.

Nossos resultados não demonstraram diferença significativa na velocidade de corrida (km·h⁻¹) entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx} (TE = 0,05 [trivial]). Foi encontrada uma correlação forte e significativa entre os métodos avaliados (tabela 10).

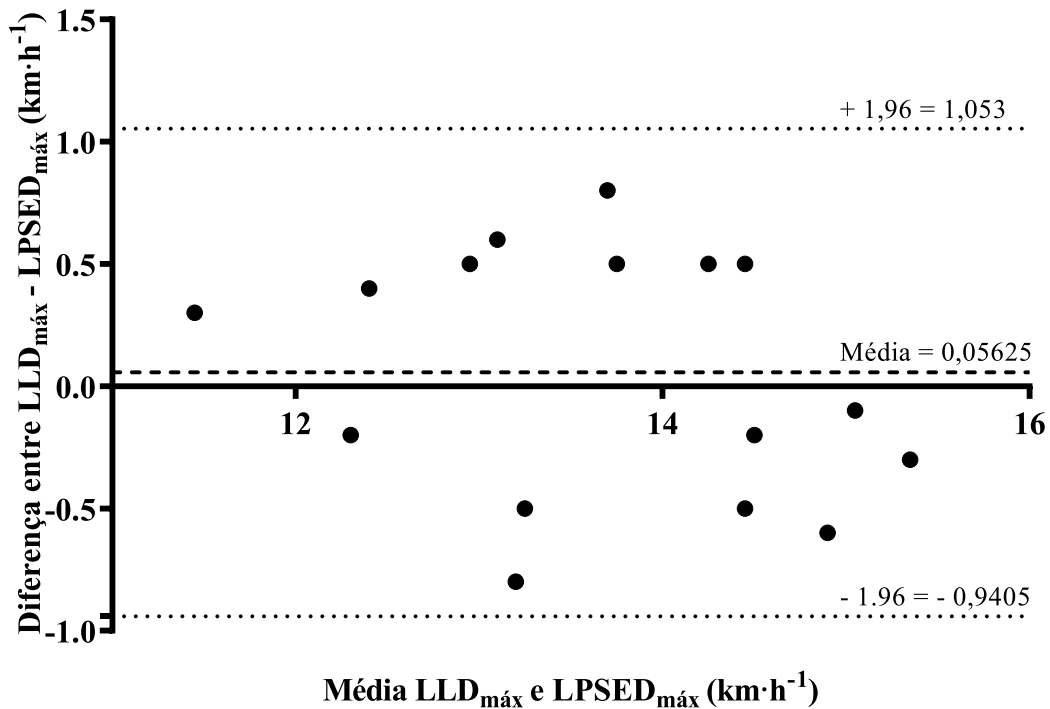
Tabela 10 – Relação dos valores médios (\pm DP) da velocidade de corrida (km·h⁻¹) entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx}

Velocidade de corrida (km·h ⁻¹)	Velocidade de corrida (km·h ⁻¹)	Significância	Valor de <i>t</i>	Correlação	Significância da correlação
LLD _{máx}	LPSED _{máx}				
13,53 \pm 0,96	13,47 \pm 1,05	p=0,664	t=0,442	r=0,91*	p=0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: *p<0,05 para a correlação entre as variáveis

A análise do gráfico de Bland-Altman demonstrou concordância entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx}. Porém, existe uma diferença média de 0,05 km·h⁻¹ entre os métodos com viés (-0,94 a 1,05 km·h⁻¹), o que é verdadeiro para 95% dos participantes (figura 8). A análise de regressão linear entre a diferença e a média dos métodos avaliados mostrou um *slope* diferente de zero (IC 95% = [-0,13; 0,37]). O valor médio das diferenças entre os métodos não diferiu significativamente de 0 (p=0,664), indicando um viés proporcional.

Figura 8 – Análise da concordância entre o $LLD_{m\acute{a}x}$ e o $LPSED_{m\acute{a}x}$.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: $LLD_{m\acute{a}x}$: limiar de lactato pelo método $D_{m\acute{a}x}$; $LPSED_{m\acute{a}x}$: limiar da percepção subjetiva de esforço pelo método $D_{m\acute{a}x}$. A linha pontilhada mostra a média das diferenças entre os métodos (viés). As linhas tracejadas superiores e inferiores mostram o viés de $\pm 1,96$.

4.4 DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo não indicaram diferença significativa na velocidade de corrida onde o $LLD_{m\acute{a}x}$ e o $LPSED_{m\acute{a}x}$ foram encontrados. Além disso, ambos os métodos apresentaram forte correlação e concordância.

Ao longo dos anos, diversos estudos buscaram validar e/ou avaliar as escalas de percepção de esforço a partir de outros parâmetros utilizados para determinar o LAn como as [Lac] (FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014; IRVING *et al.*, 2006) e os parâmetros ventilatórios (MONNIER-BENOIT; GROSLAMBERT; ROUILLON, 2009). Irving *et al.*, (2006) avaliaram indivíduos sedentários a pouco ativos e encontraram forte correlação ($r=0,82$) e concordância entre a PSE medida pela escala OMNI-*Walk/Run* e as intensidades de exercício associadas as [Lac] durante o teste de exercício graduado máximo realizado em esteira ergométrica. Em um estudo semelhante ao nosso, Fabre *et al.*, (2013) avaliaram indivíduos fisicamente ativos e observaram uma forte correlação ($r=0,97$) e concordância na resposta do

VO₂ entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx} em um teste de exercício graduado máximo realizado em esteira utilizando a escala de Borg (CR-100) de esforço percebido. Nessa linha, nossos resultados também mostraram forte correlação ($r=0,91$) (tabela 10) e concordância (figura 8) entre o LLD_{máx} e o LPSED_{máx}. No entanto, a análise do gráfico de Bland-Altman demonstrou que apesar de haver uma diferença média de $0,05 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entre os métodos avaliados, existe um viés de $\pm 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para alguns dos participantes. Esses achados destacam que o LPSED_{máx} pode ser um método atraente para prever o LAn, embora requeira cuidados na prescrição para alguns sujeitos. No entanto, nossos resultados foram consistentes com os apresentados por outros estudos que demonstraram correlação e concordância entre LL e PSE durante um teste de exercício graduado máximo realizado na esteira ergométrica (FABRE *et al.*, 2013; IRVING *et al.*, 2006) e cicloergômetro (FERREIRA *et al.*, 2014). As semelhanças nos resultados desses estudos podem indicar que as escalas OMNI de percepção do esforço não parecem ser influenciadas pela modalidade de exercício (ROBERTSON *et al.*, 2003; UTTER *et al.*, 2004). Adicionalmente, experimentos que avaliaram a escala de percepção do esforço de Borg demonstraram que ela não parece ser afetada pelo estado de treinamento (FABRE *et al.*, 2013; IRVING *et al.*, 2006; SCHERR *et al.*, 2013), permitindo que essas escalas sejam aplicadas em diversas populações incluindo corredores de longa distância, como neste estudo.

Na literatura específica, alguns mecanismos foram propostos para explicar a relevância da PSE como instrumento de monitoramento e prescrição da intensidade do exercício. Nesse sentido, parece que aumentos nos escores da PSE estão associados a alterações fisiológicas, como aumento da frequência cardíaca, consumo de oxigênio e acidose metabólica (ESTON, 2012). Com base nesse modelo, acredita-se que a sensação de esforço é fortemente modulada por alterações metabólicas e mecânicas periféricas que ocorrem durante a contração muscular, que seriam percebidas pelos grupos aferentes III e IV, aumentando sua descarga para o sistema nervoso central (PAGEAUX; GAVEAU, 2016) e estimulando as áreas sensoriais do cérebro. Assim, a percepção de esforço poderia ser influenciada via *feedback* sensorial (PEÑAILILLO; MACKAY; ABBISS, 2018) e, portanto, desenvolver o conjunto de sensações psicofisiológicas durante o exercício. Uma das alterações metabólicas que poderiam atuar como um dos sinais para o sistema nervoso central e, assim, influenciar a resposta da PSE são as [Lac] (HAMPSON *et al.*, 2001). Dessa forma, justifica-se comparar e correlacionar os escores da PSE e os valores das [Lac] para verificar a sensibilidade dessa ferramenta para a determinação do LAn durante um teste de exercício graduado máximo. Por outro lado, embora seja reconhecida a importância do papel desempenhado pelos grupos aferentes III e IV em fornecer *feedback* ao sistema nervoso central, esse não parece ser o único agente envolvido na modulação da percepção de

esforço. De Morree; Klein; Marcora, (2012) observaram em seu estudo que o aumento da PSE com o acréscimo das cargas de trabalho e, conseqüentemente, a fadiga, foi influenciada pelas informações enviadas diretamente das regiões motoras para as regiões sensoriais do cérebro, sugerindo que a resposta da PSE pode estar relacionada à descarga corolária dos comandos motores centrais, em vez da associação entre as alterações periféricas e o *feedback* sensorial. No entanto, como medimos apenas as [Lac] durante o teste de exercício graduado, torna-se difícil determinar qual mecanismo foi responsável pela resposta da PSE em nosso estudo.

Portanto, embora o presente estudo tenha mostrado que a escala *OMNI-Walk/Run* parece ser um método de baixo custo e fácil aplicação para determinar o LAn e prescrever o treinamento de *endurance*, seu uso apresenta algumas limitações como a fadiga, conhecimento prévio do treinador e do atleta no que se refere a familiaridade com a escala, bem como a subjetividade do método que pode permitir que o LAn seja facilmente manipulado pelo atleta durante um teste de exercício graduado. Por se tratar de um estudo preliminar com uma amostra menor, estudos adicionais devem ser considerados para avaliar a reprodutibilidade e objetividade do uso da escala *OMNI-Walk/Run* para determinar o LAn em corredores de longa distância, principalmente, com uma amostra maior e com diferentes níveis de treinamento.

4.5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que é possível predizer o LAn a partir da curva da escala *OMNI-Walk/Run* através de um único teste de exercício graduado em corredores de longa distância recreacionalmente treinados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Dadas as qualidades e limitações inerentes a cada método de quantificação da DIT, destacamos a importância de monitorar as respostas de treinamento através de múltiplos mecanismos (FOSTER *et al.*, 2020), muitas vezes incluindo a comparação entre parâmetros de carga externos (por exemplo, velocidade de corrida) e internos (ou seja, PSE-sessão) (FOSTER; RODRIGUEZ-MARROYO; DE KONING, 2017) para auxiliar o treinador na tomada de decisão (BOULLOSA *et al.*, 2020). Dessa forma, pode ser que a velocidade da corrida seja um método atrativo para quantificar a DIT na perspectiva de verificar se o treinamento prescrito com base nos referenciais fisiológicos foi realmente realizado pelo atleta. Embora a FC seja um método de quantificação da DIT amplamente utilizado, talvez seja uma ferramenta mais adequada para monitorar as adaptações ao longo da temporada esportiva; assim, se um atleta, por exemplo, correu uma certa distância mais rápido com a mesma FC, ou diminui sua FC ao correr na mesma velocidade de corrida, isso demonstraria uma adaptação positiva ao treinamento (BOULLOSA *et al.*, 2020). Devido ao seu conceito psicofisiológico integrativo, os treinadores devem incluir a PSE-sessão diariamente para entender globalmente (FOSTER *et al.*, 2021) como seus atletas responderam ao esforço médio durante a sessão de treinamento. Pode ser que uma abordagem com o objetivo de avaliar a PSE-sessão de cada uma das partes principais da sessão de treinamento (ou seja, aquecimento, sessão principal e *cooldown*) seja útil para quantificar com precisão as sessões de treinamento intervalado de alta intensidade e *tempo runs* (BELLINGER; ARNOLD; MINAHAN, 2020; FOSTER *et al.*, 2021). Outros componentes do treinamento de *endurance*, como testes de desempenho físico e competições ao longo da temporada esportiva, também devem ser adicionados para a quantificação da DIT. Nesse sentido, Boullosa; Esteve-Lanao; Seiler, (2019) destacaram que um grande número de testes de desempenho quando adicionado ao programa de treinamento planejado, pode levar a um aumento excessivo da carga de treinamento. Além disso, outros dados consistentes indicaram que as competições de corrida são realizadas predominantemente em intensidades de exercício $\geq 90\%$ da $FC_{m\acute{a}x}$ (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005). Essas competições tornam-se bastante exigentes porque são realizadas na zona 3 e também precisam ser somadas à quantificação do treinamento planejado. Surpreendentemente, a carga de treinamento derivada de métodos como treinamento de força (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014), treinamento pliométrico ou de força explosiva (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-LANAO *et al.*, 2005; MUÑOZ *et al.*, 2014) e treinamento intervalado em subida (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2007; ESTEVE-

LANAO *et al.*, 2005) não foram contabilizados para a quantificação da DIT. Portanto, é sugerido que os testes de desempenho físico, treinamento intervalado em subidas e competições podem ser facilmente contabilizados usando os métodos de quantificação aqui apresentados (ou seja, velocidade de corrida, FC e PSE-sessão). Em contrapartida, o treinamento de força e o treinamento pliométrico/explosivo devem ser considerados separadamente do treinamento de *endurance* (TØNNESSEN *et al.*, 2014) e, além disso, a PSE-sessão pode ser utilizada para quantificar esses conteúdos (ASADI, 2014; MCGUIGAN; FOSTER, 2004). Dessa forma, parece que a capacidade da PSE-sessão em quantificar diferentes conteúdos de treinamento pode ajudar os treinadores a agrupar as respostas do treinamento de forma simples por meio de uma única ferramenta, permitindo seu entendimento global e contribuindo para a tomada de decisão. Claramente, há um acúmulo de carga de treinamento que aumenta a PSE-sessão durante sessões de treinamento prolongadas em baixa intensidade. Desse modo, é sugerido que os treinadores utilizem essas informações para ajustar a carga de treinamento, uma vez que um excesso de carga em sessões de treinamento em baixa intensidade pode comprometer a recuperação e impedir que os atletas realizem suas sessões de treinamento de alta intensidade com qualidade. Por fim, para o uso da escala *OMNI-Walk/Run*, é recomendado que os treinadores sigam estritamente os procedimentos de familiarização e ancoragem para evitar interpretações errôneas por parte dos atletas que impossibilitem o uso da escala para determinação do LAn.

REFERÊNCIAS

- ASADI, A. Use of rating of perceived exertion for determining plyometric exercises intensity in physically active men. **Sport Sciences for Health**, 10, n. 2, p. 75-78, 2014.
- BACHERO-MENA, B.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. Mechanical and metabolic responses during high-intensity training in elite 800-m runners. **International Journal of Sports Medicine**, 42, n. 04, p. 350-356, 2021.
- BARROSO, R.; SALGUEIRO, D. F.; DO CARMO, E. C.; NAKAMURA, F. Y. The effects of training volume and repetition distance on session rating of perceived exertion and internal load in swimmers. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 10, n. 7, p. 848-852, 2015.
- BELLINGER, P. Functional overreaching in endurance athletes: A necessity or cause for concern? **Sports Medicine**, 50, n. 6, p. 1059-1073, 2020.
- BELLINGER, P.; ARNOLD, B.; MINAHAN, C. Quantifying the training-intensity distribution in middle-distance runners: The influence of different methods of training-intensity quantification. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 15, n. 3, p. 319-323, 2020.
- BELLINGER, P.; DERAIVE, W.; LIEVENS, E.; KENNEDY, B. *et al.* Determinants of last lap speed in paced and maximal 1500-m time trials. **European Journal of Applied Physiology**, 121, n. 2, p. 525-537, 2021.
- BELLINGER, P. Re-thinking athlete training loads: Little rocks and big rocks can be understood with a multivariable approach. **Research in Sports Medicine**, p. 1-3, 2021.
- BILLAT, V.; LEPRETRE, P.-M.; HEUGAS, A.-M.; LAURENCE, M.-H. *et al.* Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. **Medicine Science in Sports Exercise**, 35, n. 2, p. 297-304, 2003.
- BILLAT, V. L.; DEMARLE, A.; SLAWINSKI, J.; PAIVA, M. *et al.* Physical and training characteristics of top-class marathon runners. **Medicine Science in Sports Exercise**, 33, n. 12, p. 2089-2097, 2001.
- BILLAT, V. L.; FLECHET, B.; PETIT, B.; MURIAUX, G. *et al.* Interval training at VO_2 max: effects on aerobic performance and overtraining markers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 31, n. 1, p. 156-163, 1999.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine Science in Sports Exercise**, 5, n. 14, p. 4, 1982.
- BOULLOSA, D.; ESTEVE-LANAO, J.; CASADO, A.; PEYRÉ-TARTARUGA, L. A. *et al.* Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. **Sports**, 8, n. 3, p. 35, 2020.
- BOULLOSA, D.; ESTEVE-LANAO, J.; SEILER, S. Potential confounding effects of intensity on training response. **Medicine Science in Sports Exercise**, 51, p. 1973-1974, 2019.

BOULLOSA, D. A.; ABREU, L.; VARELA-SANZ, A.; MUJIKA, I. Do olympic athletes train as in the Paleolithic era? **Sports Medicine**, 43, n. 10, p. 909-917, 2013.

BOURGOIS, J. G.; BOURGOIS, G.; BOONE, J. Perspectives and determinants for training-intensity distribution in elite endurance athletes. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 14, n. 8, p. 1151-1156, 2019.

BROWN, P.; BRUNNHUBER, K.; CHALKIDOU, K.; CHALMERS, I. *et al.* How to formulate research recommendations. **BMJ**, 333, n. 7572, p. 804-806, 2006.

CADEGIANI, F. A.; KATER, C. E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: A systematic review. **BMC Sports Science, Medicine Rehabilitation**, 9, n. 1, p. 1-15, 2017.

CAMPOS, Y. A. C.; VIANNA, J. M.; GUIMARÃES, M. P.; SOUZA, H. L. *et al.* Anaerobic threshold prediction using the OMNI-Walk/Run scale in long-distance runners: A preliminary study. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 16, n. 5, p. 727-730, 2021.

CARNES, A. J.; MAHONEY, S. E. Polarized versus high-intensity multimodal training in recreational runners. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 14, n. 1, p. 105-112, 2019.

CASADO, A.; HANLEY, B.; RUIZ-PÉREZ, L. M. Deliberate practice in training differentiates the best Kenyan and Spanish long-distance runners. **European Journal of Sport Science**, 20, n. 7, p. 887-895, 2020.

CASADO, A.; HANLEY, B.; SANTOS-CONCEJERO, J.; RUIZ-PÉREZ, L. World-class long-distance running performances are best predicted by volume of easy runs and deliberate practice of short interval and tempo runs. **Journal of Strength Conditioning Research**, 2019.

CHALMERS, I.; HEDGES, L. V.; COOPER, H. A brief history of research synthesis. **Evaluation the health professions**, 25, n. 1, p. 12-37, 2002.

CLEMENTE-SUAREZ, V. J.; DALAMITROS, A. A.; NIKOLAIDIS, P. T. The effect of a short-term training period on physiological parameters and running performance: intensity distribution versus constant-intensity exercise. **Journal of Sports Medicine Physical Fitness**, 58, n. 1-2, p. 1-7, 2018.

CLEMENTE SUAREZ, V. J.; GONZÁLEZ-RAVÉ, J. M. Four weeks of training with different aerobic workload distributions—Effect on aerobic performance. **European Journal of Sport Science**, 14, n. sup1, p. S1-S7, 2014.

DE MORREE, H. M.; KLEIN, C.; MARCORA, S. M. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. **Psychophysiology**, 49, n. 9, p. 1242-1253, 2012.

DOWNS, S. H.; BLACK, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. **Journal of Epidemiology Community Health**, 52, n. 6, p. 377-384, 1998.

DÜKING, P.; HOLMBERG, H.-C.; KUNZ, P.; LEPPICH, R. *et al.* Intra-individual physiological response of recreational runners to different training mesocycles: A randomized cross-over study. **European Journal of Applied Physiology**, 120, n. 12, p. 2705-2713, 2020.

EAGLY, A. H.; WOOD, W. Using research syntheses to plan future research. 1994.

EDGE, J.; BISHOP, D.; GOODMAN, C. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. **European Journal of Applied Physiology**, 96, n. 1, p. 97-105, 2006.

ENOKSEN, E.; SHALFAWI, S. A.; TØNNESEN, E. The effect of high-vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. **Journal of Strength Conditioning Research**, 25, n. 3, p. 812-818, 2011.

ENOKSEN, E.; TJELTA, A. R.; TJELTA, L. I. Distribution of training volume and intensity of elite male and female track and marathon runners. **International Journal of Sports Science Coaching**, 6, n. 2, p. 273-293, 2011.

ESTEVE-LANAO, J.; FOSTER, C.; SEILER, S.; LUCIA, A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. **Journal of Strength Conditioning Research**, 21, n. 3, p. 943-949, 2007.

ESTEVE-LANAO, J.; SAN JUAN, A. F.; EARNEST, C. P.; FOSTER, C. *et al.* How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. **Medicine Science in Sports Exercise**, 37, n. 3, p. 496-504, 2005.

ESTON, R. Use of ratings of perceived exertion in sports. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 7, n. 2, p. 175-182, 2012.

FABRE, N.; MOUROT, L.; ZERBINI, L.; PELLEGRINI, B. *et al.* A novel approach for lactate threshold assessment based on rating of perceived exertion. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 8, n. 3, p. 263-270, 2013.

FARRELL, J. W.; DUNN, A.; CANTRELL, G. S.; LANTIS, D. J. *et al.* Effects of group running on the training intensity distribution of collegiate cross-country runners. **Journal of Strength Conditioning Research**, 2019.

FAUL, F.; ERDFELDER, E.; BUCHNER, A.; LANG, A.-G. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. **Behavior Research Methods**, 41, n. 4, p. 1149-1160, 2009.

FERREIRA, G. A.; OSIECKI, R.; LIMA-SILVA, A. E.; DE ANGELIS-PEREIRA, M. C. *et al.* Effect of a reduced-CHO diet on the rate of perceived exertion curve during an incremental test. **International Journal of Sport Nutrition Exercise Metabolism**, 24, n. 5, p. 532-542, 2014.

FESTA, L.; TAPERI, C.; SKROCE, K.; LA TORRE, A. *et al.* Effects of different training intensity distribution in recreational runners. **Frontiers in Sports Active Living**, 1, p. 70, 2020.

FOSTER, C.; ANHOLM, J. D.; BOK, D.; BOULLOSA, D. *et al.* Generalized approach to translating exercise tests and prescribing exercise. **Journal of Functional Morphology Kinesiology**, 5, n. 3, p. 63, 2020.

FOSTER, C.; BOULLOSA, D.; MCGUIGAN, M.; FUSCO, A. *et al.* 25 years of session rating of perceived exertion: Historical perspective and development. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 16, n. 5, p. 612-621, 2021.

FOSTER, C.; DAINES, E.; HECTOR, L.; SNYDER, A. C. *et al.* Athletic performance in relation to training load. **Wisconsin Medical Journal**, 95, n. 6, p. 370-374, 1996.

FOSTER, C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 30, n. 7, p. 1164-1168, 1998.

FOSTER, C.; FLORHAUG, J. A.; FRANKLIN, J.; GOTTSCHALL, L. *et al.* A new approach to monitoring exercise training. **Journal of Strength Conditioning Research**, 15, n. 1, p. 109-115, 2001.

FOSTER, C.; HEIMANN, K. M.; ESTEN, P. L.; BRICE, G. *et al.* Differences in perceptions of training by coaches and athletes. **South African Journal of Sports Medicine**, 8, n. 2, p. 3-7, 2001.

FOSTER, C.; RODRIGUEZ-MARROYO, J. A.; DE KONING, J. J. Monitoring training loads: The past, the present, and the future. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 12, n. s2, p. S2-2-S2-8, 2017.

FUSCO, A.; KNUTSON, C.; KING, C.; MIKAT, R. P. *et al.* Session RPE during prolonged exercise training. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 15, n. 2, p. 292-294, 2020.

FUSCO, A.; SUSTERCICH, W.; EDGERTON, K.; CORTIS, C. *et al.* Effect of progressive fatigue on session RPE. **Journal of Functional Morphology Kinesiology**, 5, n. 1, p. 15, 2020.

GALÁN-RIOJA, M. Á.; GONZÁLEZ-MOHÍNO, F.; POOLE, D. C.; GONZÁLEZ-RAVÉ, J. M. Relative proximity of critical power and metabolic/ventilatory thresholds: systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, p. 1-13, 2020.

GALBRAITH, A.; HOPKER, J.; CARDINALE, M.; CUNNIFFE, B. *et al.* A 1-year study of endurance runners: training, laboratory tests, and field tests. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 9, n. 6, p. 1019-1025, 2014.

GALBRAITH, A.; HOPKER, J.; LELLIOTT, S.; DIDDAMS, L. *et al.* A single-visit field test of critical speed. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 9, n. 6, p. 931-935, 2014.

GILGEN-AMMANN, R.; SCHWEIZER, T.; WYSS, T. Accuracy of Distance Recordings in Eight Positioning-Enabled Sport Watches: Instrument Validation Study. **JMIR mHealth and uHealth**, 8, n. 6, p. e17118, 2020.

- GILMAN, M. B. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. **Sports Medicine**, 21, n. 2, p. 73-79, 1996.
- GONZÁLEZ-MOHÍNO, F.; GONZÁLEZ-RAVÉ, J. M.; JUÁREZ, D.; FERNÁNDEZ, F. A. *et al.* Effects of continuous and interval training on running economy, maximal aerobic speed and gait kinematics in recreational runners. **Journal of Strength Conditioning Research**, 30, n. 4, p. 1059-1066, 2016.
- HAMPSON, D. B.; GIBSON, A. S. C.; LAMBERT, M. I.; NOAKES, T. D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. **Sports Medicine**, 31, n. 13, p. 935-952, 2001.
- HIGGINS, J. P.; GREEN, S. Cochrane Collaboration: Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. **Cochrane Book Series**, 2008.
- HOROWITZ, J. F.; KLEIN, S. Lipid metabolism during endurance exercise. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, n. 2, p. 558S-563S, 2000.
- HYDREN, J. R.; COHEN, B. S. Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. **Journal of Strength Conditioning Research**, 29, n. 12, p. 3523-3530, 2015.
- IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M.; COUTTS, A. J. Internal and external training load: 15 years on. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 14, n. 2, p. 270-273, 2019.
- IRVING, B. A.; RUTKOWSKI, J.; BROCK, D. W.; DAVIS, C. K. *et al.* Comparison of Borg-and OMNI-RPE as markers of the blood lactate response to exercise. **Medicine Science in Sports Exercise**, 38, n. 7, p. 1348-1352, 2006.
- JAMNICK, N. A.; PETTITT, R. W.; GRANATA, C.; PYNE, D. B. *et al.* An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. **Sports Medicine**, 50, n. 10, p. 1729-1756, 2020.
- JEANS, E. A.; FOSTER, C.; PORCARI, J. P.; GIBSON, M. *et al.* Translation of exercise testing to exercise prescription using the talk test. **Journal of Strength Conditioning Research**, 25, n. 3, p. 590-596, 2011.
- JONES, A. M.; BURNLEY, M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 4, n. 4, p. 524-532, 2009.
- JONES, A. M.; BURNLEY, M.; BLACK, M. I.; POOLE, D. C. *et al.* The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. **Physiological Reports**, 7, n. 10, p. e14098, 2019.
- JONES, A. M.; DOUST, J. H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **Journal of Sports Sciences**, 14, n. 4, p. 321-327, 1996.

JONES, A. M.; KIRBY, B. S.; CLARK, I. E.; RICE, H. M. *et al.* Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. **Journal of Applied Physiology**, 130, n. 2, p. 369-379, 2021.

JOYNER, M. J.; HUNTER, S. K.; LUCIA, A.; JONES, A. M. Physiology and fast marathons. **Journal of Applied Physiology**, 128, n. 4, p. 1065-1068, 2020.

KENNEALLY, M.; CASADO, A.; GOMEZ-EZEIZA, J.; SANTOS-CONCEJERO, J. Training intensity distribution analysis by race pace vs. physiological approach in world-class middle-and long-distance runners. **European Journal of Sport Science**, 21, n. 6, p. 819-826, 2021.

KENNEALLY, M.; CASADO, A.; SANTOS-CONCEJERO, J. The effect of periodization and training intensity distribution on middle-and long-distance running performance: A systematic review. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 13, n. 9, p. 1114-1121, 2018.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. **European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology**, 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

LAMBERT, M.; MBAMBO, Z.; GIBSON, A. S. C. Heart rate during training and competition for longdistance running. **Journal of Sports Sciences**, 16, n. sup1, p. 85-90, 1998.

LEHMANN, M.; GASTMANN, U.; PETERSEN, K.; BACHL, N. *et al.* Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle-and long-distance runners. **British Journal of Sports Medicine**, 26, n. 4, p. 233-242, 1992.

LEHMANN, M.; SCHNEE, W.; SCHEU, R.; STOCKHAUSEN, W. *et al.* Decreased nocturnal catecholamine excretion: parameter for an overtraining syndrome in athletes? **International Journal of Sports Medicine**, 13, n. 3, p. 236-242, 1992.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF J. *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. **PLoS Medicine**, 6, n. 7, p. e1000100, 2009.

LUCÍA, A.; HOYOS, J.; PÉREZ, M.; CHICHARRO, J. L. M. *et al.* Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. **Medicine Science in Sports Exercise**, 32, n. 10, p. 1777-1782, 2000.

MANN, T.; LAMBERTS, R. P.; LAMBERT, M. I. Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. **Sports Medicine**, 43, n. 7, p. 613-625, 2013.

MANZI, V.; BOVENZI, A.; CASTAGNA, C.; SALIMEI, P. S. *et al.* Training-load distribution in endurance runners: Objective versus subjective assessment. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 10, n. 8, p. 1023-1028, 2015.

- MAROCOLO, M.; SIMIM, M. A. M.; BERNARDINO, A.; MONTEIRO, I. R. *et al.* Ischemic preconditioning and exercise performance: shedding light through smallest worthwhile change. **European Journal of Applied Physiology**, 119, n. 10, p. 2123-2149, 2019.
- MCGUIGAN, M. R.; FOSTER, C. A new approach to monitoring resistance training. **Strength Conditioning Journal**, 26, n. 6, p. 42, 2004.
- MEERPOHL, J. J.; HERRLE, F.; ANTES, G.; VON ELM, E. Scientific value of systematic reviews: Survey of editors of core clinical journals. **PloS One**, 7, n. 5, p. e35732, 2012.
- MENZIES, C.; WOOD, M.; THOMAS, J.; HENGIST, A. *et al.* Frequent carbohydrate ingestion reduces muscle glycogen depletion and postpones fatigue relative to a single bolus. **International Journal of Sport Nutrition Exercise Metabolism**, 30, n. 3, p. 203-209, 2020.
- MONNIER-BENOIT, P.; GROSLAMBERT, A.; ROUILLON, J.-D. Determination of the ventilatory threshold with affective valence and perceived exertion in trained cyclists: A preliminary study. **Journal of Strength Conditioning Research**, 23, n. 6, p. 1752-1757, 2009.
- MUJIKKA, I. Intense training: the key to optimal performance before and during the taper. **Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports**, 20, p. 24-31, 2010.
- MUJIKKA, I. Quantification of training and competition loads in endurance sports: methods and applications. **International Journal of Sports Physiology**, 12, n. s2, p. S2-9-S2-17, 2017.
- MUJIKKA, I.; PADILLA, S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. **Medicine Science in Sports Exercise**, 35, n. 7, p. 1182-1187, 2003.
- MUÑOZ, I.; SEILER, S.; BAUTISTA, J.; ESPAÑA, J. *et al.* Does polarized training improve performance in recreational runners? **International Journal of Sports Physiology Performance**, 9, n. 2, p. 265-272, 2014.
- NELSON, M. J.; BELLENGER, C. R.; THOMSON, R. L.; ROBERTSON, E. Y. *et al.* Optimisation of assessment of maximal rate of heart rate increase for tracking training-induced changes in endurance exercise performance. **Scientific Reports**, 10, n. 1, p. 1-6, 2020.
- Nielsen, R. O.; Cederholm, P.; Buist, I.; Sørensen, H. *et al.* Can GPS be used to detect deleterious progression in training volume among runners?. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 27, n. 6, p. 1471-1478, 2013.
- NOAKES, T. D.; MYBURGH, K. H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. **Journal of Sports Sciences**, 8, n. 1, p. 35-45, 1990.
- PAGEAUX, B.; GAVEAU, J. Studies using pharmacological blockade of muscle afferents provide new insights into the neurophysiology of perceived exertion. **Journal of Physiology**, 594, n. 18, p. 5049, 2016.

- Paquette, M. R.; Napier, C.; Willy, R. W.; Stellingwerff, T. Moving beyond weekly “distance”: optimizing quantification of training load in runners. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, 50, n. 10, p. 564-569, 2020.
- PARFITT, G.; EVANS, H.; ESTON, R. Perceptually regulated training at RPE13 is pleasant and improves physical health. **Medicine Science in Sports Exercise**, 44, n. 8, p. 1613-1618, 2012.
- PEÑAILILLO, L.; MACKAY, K.; ABBISS, C. R. Rating of perceived exertion during concentric and eccentric cycling: Are we measuring effort or exertion? **International Journal of Sports Physiology Performance**, 13, n. 4, p. 517-523, 2018.
- POOLE, D. C.; JONES, A. M. Measurement of the maximum oxygen uptake VO_{2max} : VO_{2peak} is no longer acceptable. **Journal of Applied Physiology**, 122, n. 4, p. 997-1002, 2017.
- RENFREE, A.; CASADO, A.; MCLAREN, S. Re-thinking athlete training loads: would you rather have one big rock or lots of little rocks dropped on your foot? **Research in Sports Medicine**, p. 1-4, 2021.
- RENFREE, A.; CASADO, A.; PELLEJERO, G.; HANLEY, B. More pace variation and pack formation in successful world-class 10,000-m runners than in less successful competitors. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 15, n. 10, p. 1369-1376, 2020.
- ROBERTSON, R. J.; GOSS, F. L.; RUTKOWSKI, J.; LENZ, B. *et al.* Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. **Medicine Science in Sports Exercise**, 35, n. 2, p. 333-341, 2003.
- ROBINSON, D. M.; ROBINSON, S. M.; HUME, P. A.; HOPKINS, W. M. *et al.* Training intensity of elite male distance runners. **Medicine Science in Sports Exercise**, 23, n. 9, p. 1078-1082, 1991.
- ROSENBLAT, M. A.; PERROTTA, A. S.; VICENZINO, B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Journal of Strength Conditioning Research**, 33, n. 12, p. 3491-3500, 2019.
- SANDERS, D.; MYERS, T.; AKUBAT, I. Training-intensity distribution in road cyclists: objective versus subjective measures. **International Journal of Sports Physiology Performance**, 12, n. 9, p. 1232-1237, 2017.
- SAUNDERS, P. U.; PYNE, D. B.; TELFORD, R. D.; HAWLEY, J. A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, 34, n. 7, p. 465-485, 2004.
- SCHERR, J.; WOLFARTH, B.; CHRISTLE, J. W.; PRESSLER, A. *et al.* Associations between Borg’s rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. **European Journal of Applied Physiology**, 113, n. 1, p. 147-155, 2013.

SCHULZ, K. F.; ALTMAN, D. G.; MOHER, D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. **Trials**, 11, n. 1, p. 1-8, 2010.

SEILER, K. S.; KJERLAND, G. Ø. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? **Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports**, 16, n. 1, p. 49-56, 2006.

SEILER, S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? **International Journal of Sports Physiology Performance**, 5, n. 3, p. 276-291, 2010.

SKINNER, J. S.; MCLELLAN, T. H. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. **Research Quarterly for Exercise Sport**, 51, n. 1, p. 234-248, 1980.

STÖGGL, T.; SPERLICH, B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. **Frontiers in Physiology**, 5, p. 33, 2014.

STÖGGL, T. L.; SPERLICH, B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. **Frontiers in Physiology**, 6, p. 295, 2015.

SWART, J.; LAMBERTS, R. P.; LAMBERT, M. I.; LAMBERT, E. V. *et al.* Exercising with reserve: Exercise regulation by perceived exertion in relation to duration of exercise and knowledge of endpoint. **British Journal of Sports Medicine**, 43, n. 10, p. 775-781, 2009.

TANAKA, H.; MONAHAN, K. D.; SEALS, D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. **Journal of the American College of Cardiology**, 37, n. 1, p. 153-156, 2001.

THOMPSON, S. W.; ROGERSON, D.; RUDDOCK, A.; BARNES, A. The effectiveness of two methods of prescribing load on maximal strength development: a systematic review. **Sports Medicine**, 50, n. 5, p. 919-938, 2020.

TJELTA, L. I. Three Norwegian brothers all European 1500 m champions: What is the secret? **International Journal of Sports Science Coaching**, 14, n. 5, p. 694-700, 2019.

TJELTA, L. I.; ENOKSEN, E. Training characteristics of male junior cross country and track runners on European top level. **International Journal of Sports Science Coaching**, 5, n. 2, p. 193-203, 2010.

TØNNESEN, E.; SYLTA, Ø.; HAUGEN, T. A.; HEM, E. *et al.* The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. **PloS One**, 9, n. 7, p. e101796, 2014.

UTTER, A. C.; ROBERTSON, R. J.; GREEN, J. M.; SUMINSKI, R. R. *et al.* Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. **Medicine Science in Sports Exercise**, 36, n. 10, p. 1776-1780, 2004.

VAN VELZEN, J.; VAN BENNEKOM, C. A.; POLOMSKI, W.; SLOOTMAN, J. *et al.* Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review. **Clinical Rehabilitation**, 20, n. 11, p. 999-1016, 2006.

WOLTMANN, M. L.; FOSTER, C.; PORCARI, J. P.; CAMIC, C. L. *et al.* Evidence that the talk test can be used to regulate exercise intensity. **Journal of Strength Conditioning Research**, 29, n. 5, p. 1248-1254, 2015.

ZINNER, C.; SCHÄFER, D.; SPERLICH, B. Mesocycles with Different Training Intensity Distribution in Recreational Runners. **Medicine Science in Sports Exercise**, 50, n. 8, p. 1641-1648, 2018.

APÊNDICE A – EVIDÊNCIA CIENTÍFICA PUBLICADA EM PERIÓDICO
CLASSIFICADO EM ESTRATO A1

**Complimentary and personal copy for
Yuri Campos, Arturo Casado, João Guilherme Vieira,
Miller Guimarães, Leandro Sant’Ana, Luis Leitão,
Sandro Fernandes da Silva et al.**

www.thieme.com

**Training-intensity
Distribution on Middle- and
Long-distance Runners: A
Systematic Review**

DOI 10.1055/a-1559-3623
Int J Sports Med

This electronic reprint is provided for non-commercial and personal use only: this reprint may be forwarded to individual colleagues or may be used on the author's homepage. This reprint is not provided for distribution in repositories, including social and scientific networks and platforms.




Publisher and Copyright:
© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 0172-4622

Reprint with the
permission by
the publisher only

 **Thieme**

Training-intensity Distribution on Middle- and Long-distance Runners: A Systematic Review

Authors

Yuri Campos^{1,2} , Arturo Casado³, João Guilherme Vieira¹ , Miller Guimarães^{2,4}, Leandro Sant'Ana¹, Luis Leitão^{1,5} , Sandro Fernandes da Silva^{2,6}, Paulo Henrique Silva Marques de Azevedo⁴, Jeferson Vianna¹, Raúl Domínguez^{2,7}

Affiliations

- 1 Postgraduate Program of the Faculty of Physical Education and Sports, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil
- 2 Study Group and Research in Neuromuscular Responses, Federal University of Lavras, Lavras, Brazil
- 3 Centre for Sport Studies, Rey Juan Carlos University, Madrid, Spain
- 4 Postgraduate in Human Movement and Rehabilitation Sciences, Federal University of São Paulo, Santos, Brazil
- 5 Superior School of Education of Polytechnic Institute of Setúbal, Sciences and Technology Department, Setúbal, Portugal
- 6 Postgraduate Program in Nutrition and Health, Federal University of Lavras, Lavras, Brazil
- 7 Department of Human Motricity and Sports Performance, University of Seville, Seville, Spain

Key words

polarized training, pyramidal training, threshold training, periodization, endurance

accepted 19.07.2021

published online 2021

Bibliography

Int J Sports Med

DOI 10.1055/a-1559-3623

ISSN 0172-4622

© 2021, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Correspondence

Yuri Campos

Study Group and Research in Neuromuscular Responses, Department of Physical Education, Federal University of Lavras

Zip Code: 37200-000

PO BOX 3037

Lavras – Minas Gerais
Brazil

Tel.: +35 3829-5132

reiclauy@hotmail.com



Supplementary Material is available under

<https://doi.org/10.1055/a-1559-3623>

ABSTRACT

Training-intensity distribution (TID) is considered the key factor to optimize performance in endurance sports. This systematic review aimed to: I) characterize the TID typically used by middle-and long-distance runners; II) compare the effect of different types of TID on endurance performance and its physiological determinants; III) determine the extent to which different TID quantification methods can calculate same TID outcomes from a given training program. The keywords and search strategy identified 20 articles in the research databases. These articles demonstrated differences in the quantification of the different training-intensity zones among quantification methods (i.e. session-rating of perceived exertion, heart rate, blood lactate, race pace, and running speed). The studies that used greater volumes of low-intensity training such as those characterized by pyramidal and polarized TID approaches, reported greater improvements in endurance performance than those which used a threshold TID. Thus, it seems that the combination of high-volume at low-intensity ($\geq 70\%$ of overall training volume) and low-volume at threshold and high-intensity interval training ($\leq 30\%$) is necessary to optimize endurance training adaptations in middle-and long-distance runners. Moreover, monitoring training via multiple mechanisms that systematically encompasses objective and subjective TID quantification methods can help coaches/researches to make better decisions.

Introduction

The training process of middle- and long-distance runners involves the application of purposely guided physical loads through the manipulation of variables such as frequency, volume, and/or intensity of training [1], associated with appropriate recovery strategies [2]. This combination of strategies can delay the onset of fatigue and reduce the injury risk [3], prevent from the development of non-functional overreaching [4] or overtraining [5] and improve athletic performance. Over the years, several studies have emerged to obtain empirical data, and thus, improve the methods used to design training programs [6]. In contrast, consensus on the ideal volume and intensity of training for endurance sports remains unclear [7], being a hot topic among researchers and coaches [8, 9]. The balance between volume and intensity is important because the way in which endurance athletes distribute exercise intensity and volume over a training session or period, i. e. training-intensity distribution (TID) has been considered a key factor to optimize performance in endurance sports [10].

There is a consensus that maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$), running economy, the ability to sustain a high fraction of $\text{VO}_{2\text{max}}$ during long time periods before blood lactate concentration begins to suddenly increase (i. e. commonly known as lactate threshold), and critical speed are associated with the best endurance performances [11, 12]. In this way, any improvement in these parameters can be achieved through the use of specific training loads in the different exercise-intensity zones. Submaximal anchor measurements of blood lactate concentration and gas exchange determined during a graded exercise test (GTX) have been used to prescribe endurance exercise intensity [13, 14]. On the other hand, in order to quantify TID, coaches and researchers generally use heart rate [1, 6, 8, 15–23] or running speed [1, 24–27] associated with physiological benchmarks such as 1st lactate threshold (LT_1), 2nd lactate threshold (LT_2), 1st ventilatory threshold (VT_1), and 2nd ventilatory threshold (VT_2) or respiratory compensation threshold (RCT) determined through a GTX. Furthermore, other TID quantification methods derived from the session-rating of perceived exertion (s-RPE) [1, 6, 24], as well as race pace [25, 28–30], do not use a GTX. In addition, coaches commonly consider some percentages of running speed that athletes use to complete a given distance [25, 28–30] or specific tests as the critical power [24] to determine exercise-intensity zones and quantify TID based on the race pace-based approach. However, recent studies have shown that different TID outcomes are yielded depending on the quantification method used and these differences are especially important among objective and subjective methods [1, 6, 24].

Typically, three exercise-intensity zones based on the triphasic model proposed by Kindermann et al. [31] and Skinner and McLellan [32] are used to quantify TID in endurance athletes [1, 6, 8, 15–23, 25, 27, 29, 33, 34], although approaches with 2 [18, 35], 4 [26], 5 [28], and 7 zones [30] are also found in the specific literature. In this triphasic model, zone 1 is characterized by long training sessions at low-intensity ($< 2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $< \text{LT}_1$; $< \text{VT}_1$ [7, 34, 36]; equivalent to 1–4 [37] on 10-point Borg RPE scale when s-RPE is used as a quantification method [38]). Training at zone 2 (i. e. commonly known as “threshold” training) is characterized by continuous or interval training at moderate-intensity (between $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ and $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; LT_1 and LT_2 ; VT_1 and VT_2 or respiratory compensation

threshold [RCT] [7, 34, 36]; equivalent to 5–6 [37] on 10-point Borg RPE scale [38]). Training at zone 3 is characterized by high-intensity interval training sessions ($> 4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $> \text{LT}_2$; $> \text{VT}_2$ or RCT [7, 34, 36]; equivalent to 7–10 [37] on 10-point Borg RPE scale [38]).

The current literature recognizes the predominance of three types of TID that can be subdivided into polarized, pyramidal, and threshold TID [9, 36]. The polarized TID is characterized by a high volume performed at low intensity (i. e. zone 1 ~75–80% of overall training volume) and a moderate amount of high-intensity training (i. e. zone 3 ~15–20% of overall training volume), with little or none training (i. e. ~0–5% of overall training volume) performed at zone 2 [7, 9, 36]. The pyramidal TID is also characterized by a high-volume at low-intensity (zone 1 ~80%), with decreasing proportions of threshold and high-intensity training (zone 2 and 3 ~20% of overall training volume) [7, 9, 36]. The threshold TID displays higher volumes of training performed in zone 2 (i. e. >20% of overall training volume) when compared to the other models [9, 36]. Whereas some reviews have recognized the three types of TID presented here as the main models [9, 10], another review presented two other training approaches: one of these is represented by high-volume at low-intensity, with a high proportion of training performed in zone 1 (i. e. ~90% of overall training volume), and another model presents a high proportion of high-intensity training in zone 3 (i. e. ~40% of overall training volume) associated with low-intensity training and rest periods [7].

Over the last 10 years, some reviews by Seiler [36], Stöggl and Sperlich [7], Hydren and Cohen [39], Kenneally et al. [9], and Rosenblatt et al. [40] have indicated the predominance of polarized and pyramidal training in different endurance sports such as rowing, cross-country skiing, biathlon, cycling, speed skating, and running. Despite the debate about which TID models can be superior to enhance adaptations and performance [41], there is a body of evidence that supports the use of polarized and pyramidal TID with a high-volume at low-intensity training with a low-volume at threshold and high-intensity training in order to optimally improve performance in middle- and long-distance runners [7, 9]. However, some recent studies found that a pyramidal TID with moderate-volume at threshold pace was followed by world-class middle- and long-distance runners [9, 42, 43].

Therefore, the aims of the present study were I) to characterize the different types of TID (i. e. polarized, pyramidal, and threshold) used by recreationally-, well-, and highly-trained middle- and long-distance runners described in studies following retrospective, longitudinal and randomized designs; II) to compare the effect of different types of TID on endurance performance and its physiological determinants in longitudinal and randomized studies; III) to determine whether the use of different TID quantification methods can modify the type of TID calculated.

Materials and Methods

The present systematic review was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) guidelines [44].

► **Table 1** PICOS eligibility criteria for the inclusion of studies in the systematic review.

Parameters	Inclusion criteria
Participants	Studies that included a sample composed of male and/or female recreationally-, well- or highly-trained middle- and long-distance runners
Intervention	Studies that included an analysis of TID (i. e. polarized TID, pyramidal TID, and threshold TID) and training volume
Comparators	Studies that reported the training time or distance performed at different exercise-intensity zones and/or analyzed the effect of the different TIDs or a comparison between the different training types on performance and physiology determinants (VO ₂ max, VO ₂ peak, VT ₁ , VT ₂ , LT ₁ , LT ₂ , RCT, HR, RPE, and RE)
Outcome	Studies that included the exercise intensity-zones and/or effects of one or more training-intensity distribution models on time-trial performance and/or physiology determinants in the results section
Study design	Articles that included retrospective, longitudinal, and randomized studies. Dissertations, theses, conference abstracts, book chapters, articles published in non-peer-reviewed, narrative reviews, invited reviews, systematic reviews, and meta-analysis were not included

Note: TID: training-intensity distribution; HR: heart rate; LT₁: first lactate threshold; LT₂: second lactate threshold; RCT: respiratory compensation threshold; RE: running economy; RPE: rating of perceived exertion; VT₁: first ventilatory threshold; VT₂: second ventilatory threshold; VO₂max: maximal oxygen uptake; VO₂peak: peak oxygen uptake.

Eligibility criteria

► **Table 1** shows the eligibility criteria for the inclusion of studies in this systematic review. Only articles published in English, Portuguese or Spanish were included in this study. No filters were applied in the search. Studies were included according to the following inclusion criteria: participants, intervention, comparator, outcomes, and study design (PICOS) [45].

Information sources

A systematic literature search was conducted on June 15, 2021, using the following database: PubMed, Scopus, and Web of Science (Web of Science Core Collection).

Search strategy

The literature search strategy used the following keywords combined with the Boolean operators: running AND ("training-intensity distribution" OR "polarized training" OR "pyramidal training" OR "threshold training"). Search results were collected using End-Note software (X9, Thomson Reuters, New York, NY, USA) with duplicates excluded automatically (EndNote) and manually [46]. After a careful analysis of the titles and abstracts, the articles were selected for systematic review. Reference lists for each selected study were analyzed manually to identify potentially relevant studies [46]. Other studies were also searched manually on Google Scholar from the studies selected through the tool "cited by". All proce-

dures described above were performed independently by two researchers (Y.C. and R.D.). If there was a disagreement between the two researchers, the results with discrepancy were evaluated by another researcher (J.G.V.).

Data extraction

Using predefined datasheets, two authors (Y.C. and R.D.), independently extracted data from each study. These researchers discussed and resolved by consensus any potential discrepancy. For retrospective studies, data were compiled according to the following information: reference, information related to the sample (participant characteristics and sample size), the objective of the study, training-intensity classifications, training-intensity zones, training-intensity distributions, and total training volume (kilometers per week). In the longitudinal and randomized controlled trial studies, the information extracted of each study included: reference, information related to the sample, training-intensity classifications, training-intensity zones, training-intensity distributions, duration (study period in weeks and the number of training sessions per week), total training volume (kilometers per week), outcomes, and main results. In these studies, time effect, understood as the difference (expressed in %), i. e. post- vs. pre-intervention, was analyzed using the following equation: (mean value post-intervention - mean value pre-intervention) / mean value pre-intervention × 100). In addition, randomized controlled trials were specified in those studies that detected statistical differences between the different intervention groups.

Risk of bias assessment of the included studies

► **Table 2** shows the quality criteria adopted to analyze the studies included in this systematic review. The quality assessment was performed according to a checklist proposed by Marocolo et al. [47], which was adapted by the authors according to Downs and Black [48] and Van Velzen et al. [49]. During the article assessment process, there were three possible scores (Yes = 1 point, Unclear = 0.5 points, No = 0 points) for each item in the checklist with a maximal score of 15 points. The general quality of each study was performed from the sum of the 15 criteria score. Two authors independently assessed the studies (Y.C. and R.D.), and if there was any potential disagreement, the opinion of another author was consulted (J.G.V.).

Results

Study selection

► **Figure 1** represents the article selection process. A total of 677 studies were found in the databases. After eliminating duplicate articles (n = 50) and the studies which were not related to the topic (n = 603), 24 articles were identified for this review. Others (n = 5) were found through the reference lists or searched on Google Scholar from the tool "cited by" of the selected studies and, due to their relevance, were also included in the review. Twenty-nine articles were considered for this review. After performing the eligibility criteria, nine articles were excluded (four case studies, one study that involved athletes from other sports and runners, and four studies for which it was not possible to identify a training

► **Table 2** Quality criteria used to analyze the studies included in the systematic review.

	0	0.5	1
Reporting			
1. Is the hypothesis/aim/objective of the study clearly described?	No	Unclear	Yes
2. Are the main outcomes to be measured clearly described in the introduction?	No	Unclear	Yes
3. Are the characteristics of the subjects included in the study clearly described?	No	Unclear	Yes
4. Are the interventions of interest clearly described?	No	Unclear	Yes
5. Are the main findings of the study clearly described?	No	Unclear	Yes
6. Does the study provide estimates of the random variability in the data for the main outcomes?	No	Unclear	Yes
7. Were the instruments of testing reliable?	No	Unclear	Yes
8. Was a follow-up duration sufficiently described and consistent within the study?	No	Unclear	Yes
9. Number of participants included in study findings	< 5	6–15	> 16
Analysis and presentation			
10. Have actual probability values been reported (e. g. 0.035 rather than <0.05) for the main outcomes except, where the probability value is less than 0.001?	No	Unclear	Yes
11. Was there a statement adequately describing or referencing all statistical procedures used?	No	Unclear	Yes
12. Were the statistical analyses used appropriate?	No	Unclear	Yes
13. Was the presentation of results satisfactory?	No	Unclear	Yes
14. Were confidence intervals given for the main results?	No	Unclear	Yes
15. Was the conclusion drawn from the statistical analysis justified?	No	Unclear	Yes

Electronic reprint for personal use

model). Finally, 20 full-text articles complied with all the inclusion criteria and were included for the systematic review.

Study characteristics

The 20 articles selected for the systematic review had 366 subjects. Of these, 71 were highly-trained middle-and long-distance runners of international level [1, 25, 26, 28–30], 84 were well-trained middle-and long-distance runners [19–21, 27, 33] and 211 were recreationally-trained middle-and long-distance runners [6, 8, 15–17, 22, 23, 34]. In four studies (corresponding to a sample size of 80 subjects), sex of the participants was not specified [15, 19, 20, 23], while from the 286 subjects of the other studies 210 (73.4%) were male and 76 (26.6%) were female [1, 6, 8, 15–23, 25–30, 33, 34].

The time spent in each exercise-intensity zone quantified through heart rate (HR) was the most used variable and present alone in 10 studies [8, 15–23]. On the other hand, four studies included s-RPE [1, 6, 34] and running speed [1, 33] in addition to HR to quantify the exercise-intensity zones. In a total of three studies, exercise-intensity zones were classified through running pace or race pace [26, 27, 29]. Another two studies quantified the exercise-intensity zones through running pace, blood lactate concentration, and maximal heart rate percentage (%HR_{max}) values [28, 30]. Only one study used race pace and blood lactate to quantify training volume at each exercise-intensity zone [25].

Regarding the different exercise-intensity zones, 17 studies included 3 exercise-intensity zones [1, 6, 8, 15–23, 25, 27, 29, 33, 34], while other studies included 4 [26], 5 [28] or 7 zones [30]. Concerning the type of study, four retrospective studies [26, 28–30], 6 longitudinal studies [1, 6, 20, 21, 25, 33], and 10 randomized studies [8, 15–19, 22, 23, 27, 34] were found.

Quality assessment of the included studies

► **Table 3** shows the average scores of the analyzed studies according to the quality criteria. All of the studies achieved the required standard to be considered a low risk of bias (mean quality score = 13.3 ± 1.3 [88.5%]) [47].

Retrospective studies of training-intensity distribution

► **SupMat Table S1** shows the analysis of the main results found in the retrospective studies included in this systematic review. Five retrospective studies aimed to describe TID in highly-trained middle-and long-distance runners of national or international level and informed the presence of polarized [29] and pyramidal TID models [26, 28, 30]. Regardless of running distances (i. e. 1500 m to marathon), all studies reported that higher training volumes were performed at low-intensity (i. e. zone 1) [26, 28–30]. In three of these studies, a higher proportion of training at threshold intensity (i. e. zone 2) was performed compared to that in high-intensity training (i. e. zones 3, 4, 5, and 7) [26, 28, 30].

Longitudinal studies of training-intensity distribution

► **SupMat Table S2** indicates the analysis of the main results found in the longitudinal studies included in this systematic review. Two studies showed that pyramidal TID improved VO₂max and critical speed [33], as well as the running speed between VT₁ and RCT and above RCT [20]. Another study demonstrated that the model reported by the authors as a polarized TID increased VO₂peak, VO₂ at 2 mmol·L⁻¹, running speed at 2 and 4 mmol·L⁻¹ in male cross-country runners, in addition to VO₂peak, VO₂ at 4 mmol·L⁻¹, and running speed at 4 mmol·L⁻¹ in female cross-country runners [21].

Three studies observed that different TID outcomes were obtained depending on the method used to quantify TID (i. e. s-RPE and HR [6]; s-RPE, HR, and running speed [1]; and lactate threshold and race pace [25]) during a given training program completed by the runners. Regarding zone 1, Manzi et al. [6] and Kenneally et al. [25] found no difference between s-RPE and HR, and blood lactate and running pace, respectively. In contrast, Bellinger et al. [1] observed a lower amount of time spent in zone 1 for s-RPE com-

pared to HR and running speed. Similarly, Manzi et al. [6] and Bellinger et al. [1] obtained a greater amount of time spent in zone 2 through s-RPE compared to HR. Moreover, Kenneally et al. [25] reported a greater amount of time spent in zone 2 for race pace compared to blood lactate, while Bellinger et al. [1] observed a lower amount of time spent in zone 2 through running speed compared to s-RPE. Manzi et al. [6] found a greater amount of time spent in zone 3 for HR compared to s-RPE, whereas the opposite was observed by Bellinger et al. [1]. Bellinger et al. [1] also found a greater amount of time spent in zone 3 through s-RPE compared to running speed, as well as running speed compared to HR. Furthermore, Kenneally et al. [25] observed a greater amount of time spent in zone 3 for blood lactate compared to race pace for 300 m and 1500 m runners, while the opposite was found for 5000 m and 10000 m runners.

Regarding the TID classification, Manzi et al. [6] and Bellinger et al. [1] observed a pyramidal TID when HR was used as a TID quantification method. On the other hand, Manzi et al. [6] verified that s-RPE analysis reported a pyramidal TID, whereas Bellinger et al. [1] did not identify a TID (i. e. 38.9%, 32.5%, 28.5% of total time spent in zone 1, 2, and 3, respectively) using this TID quantification method. However, Bellinger et al. [1] observed that TID quantification through running speed resulted in a polarized TID. Finally, Kenneally et al. [25] demonstrated that TID quantification through race pace-based approach resulted in a pyramidal TID throughout the sports season, while TID quantification through blood lactate approach yielded a 'mixed' pyramidal and polarized TID.

Randomized studies of training-intensity distribution

► **SupMat Table S3** shows the analysis of the main results found in the randomized studies included in this systematic review. Ten studies conducted a randomized designs [8, 15–19, 22, 23, 27, 34], although three studies did not use an ANOVA to analyze the effect of time to detect possible differences in the interaction time · group [15, 16, 22]. Two studies found a greater percentage of improvements in 10 400 m and 10 000 m time-trial performance for pyramidal/polarized [19] and polarized TID [23], respectively, when compared to threshold training. Nonetheless, another study that compared polarized and threshold TID observed that both groups were able to improve physiological determinants (i. e. running speed at VT_1 , RCT, VO_2 max, and RE) and 2000 m time-trial performance [22].

Five studies also tested unconventional training settings such as normal interval training and overload interval training [27]; high-volume low-intensity training (LOW) and high-intensity low-volume training (HIGH) [18]; incremental load, constant load, and free training [15]; LOW, HIGH, and polarized TID [34]; intensity weekly increased, constant weekly intensity, and freely chosen training [16]; CrossFit and polarized TID [8]; and high-intensity interval training (HIIT), high-volume low-intensity training (HVLIT), and high frequency training (HFT) [17]. In this regard, Billat et al. [27] reported that an increase in training load at high-intensity (i. e. zone 3) compared to low-intensity (i. e. zone 1) was equally effective in decreasing HR and VO_2 at submaximal exercise intensity, as well as increasing the running speed associated with maximal oxygen uptake (vVO_2 max). Enoksen et al. [18] observed a similar reduction in VO_2 during different submaximal running speeds with high-vol-

ume low-intensity and high-intensity low-volume training, but reported an increase in running speed associated with LT and vVO_2 max only after high-intensity low-volume training. Clemente Suárez and González-Rave [15] found decreases in VO_2 between pre- and post-test for the incremental intensity and free training groups at VT_1 intensity, as well as decreases in HR for the constant intensity group and VO_2 for the incremental intensity group at VT_2 intensity. Moreover, all the studied groups presented improvements in running speed during a 2000 m time-trial performance. In a similar study, Clemente Suárez et al. [16] observed increases in running speed at 8 mmol·L⁻¹ for the group in which training intensity was increased weekly and a decrease in HR at 4 mmol·L⁻¹ for the group that maintained a constant training intensity. Carnes and Mahoney [8] observed improvements in VO_2 max and 5000 m time-trial performance with polarized TID and CrossFit training, but polarized TID yielded a greater increase in VO_2 max than CrossFit training. Zinner et al. [34] found improvements in VO_2 peak and 5000 m time-trial performance in LOW, HIGH, and polarized TID groups. On the other hand, only the high-volume low-intensity training reported improvements in RE. Recently, Düking et al. [17] found enhancements in VO_2 peak for the HVLIT group and a decrease in submaximal HR for the HFT group.

Discussion

The main results of this systematic review indicated that I) there is a predominance of pyramidal TID over the other models; II) TID outcome may substantially vary depending on the method used for its quantification; III) pyramidal and polarized TID are responsible for the best performances in middle- and long-distance runners compared to threshold training.

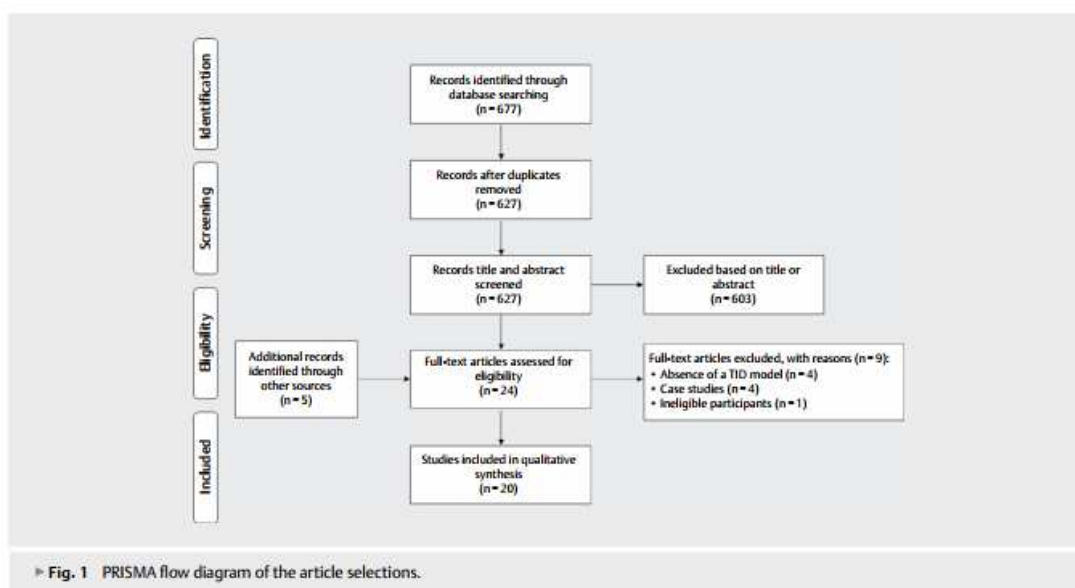
The articles selected for this systematic review reported the predominance of a pyramidal TID in retrospective [26, 28, 30] (► **SupMat Table S1**) and longitudinal [20, 33] studies (► **SupMat Table S2**), nonetheless, the presence of a polarized TID also was observed [29] (► **SupMat Table S1**). Although Farrell et al. [21] indicated the use of a polarized TID, TID quantification yielded a pyramidal approach (► **SupMat Table S2**). Other studies have also shown that either a pyramidal or polarized TID model can be calculated depending on the method used for its quantification [1, 6, 25]. In addition, other factors such as the training level [6, 19, 20, 29], period of the sports season [19, 20, 23, 28, 30], and competitive goal regarding the target distance (i. e. 800 m to marathon) [25, 30] may influence the total training volume, as well as the TID model used.

Highly-trained runners [25, 26, 28–30] perform substantially greater training volume (i. e. around 145–205 km · week⁻¹) than their well-trained peers (i. e. around 80–90 km · week⁻¹) [19, 20, 27] and recreationally-trained runners (i. e. around 50–65 km · week⁻¹) [6, 8, 23]. Despite these differences, recreationally-trained runners organize their TID in a similar way to well- and highly-trained runners. Although studies analyzing TID in recreationally-trained runners are still limited, there are consistent data supporting the inclusion of pyramidal and polarized TID models to improve time-trial performance [8, 22, 23] and VO_2 max [8, 22]. Thus, pyramidal and polarized TID seem to be the most recommended models for recreationally-trained runners, requiring small adjustments depending on the competitive distance, time available to train, and period of the sports season [50].

Electronic reprint for personal use

► Table 3 Scores assigned to each of the studies for each of the quality (Q) criteria.

References	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Score	% of max
Bilat et al. [27]	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0	1	13.5	90.0
Bilat et al. [29]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93.3
Bilat et al. [26]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13.5	90.0
Esteve-Lanao et al. [20]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	13.5	90.0
Esteve-Lanao et al. [19]	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	14.5	96.6
Tjelta and Enoksen [28]	0.5	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	10.5	70.0
Enoksen et al. [30]	0.5	1	0	1	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0	1	11	73.3
Enoksen et al. [18]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13.5	90.0
Clemente Suárez and González-Rave [15]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0.5	1	0	1	12.5	83.3
Galbraith et al. [33]	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0	1	11.5	76.6
Muñoz et al. [23]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
Manzi et al. [6]	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5	14	93.3
Clemente Suárez et al. [16]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	0	1	13.5	90.0
Ganes and Mahoney [8]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93.3
Zimmer et al. [34]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
Farrell et al. [21]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	93.3
Bellinger et al. [1]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14.5	96.6
Festa et al. [22]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	0	1	13.0	86.6
Düking et al. [17]	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0	1	13.5	90.0
Kennelly et al. [25]	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0	1	0	1	0	1	11	73.3



During the preparatory or building-up period, endurance athletes predominantly perform high-volume at low-intensity sessions characterized by continuous runs [20, 28, 30]. This type of training performed in zone 1 has the main goal of building a solid 'aerobic' base during the beginning of the training season [30, 42], seeking to increase oxidative capacity [51]. As the pre-competitive and competitive periods approach, there is a small decrease in the total training volume [19, 20, 28, 30, 51] due to the increased number of high-intensity training sessions [28, 30, 51] that may lead to a more polarized TID [30]. On the other hand, the presence of interval training sessions and continuous runs at moderate-intensity close to the anaerobic threshold is observed during an important part of the sport season [20, 28, 30], being consistent with a literature review that emphasized the use of training at threshold intensity as a typical practice in world-class distance runners [9]. It thus seems that the relatively high proportion of training in zone 2 may explain the predominance of a pyramidal TID described by most studies [20, 25, 26, 28, 30]. Of the 17 studies selected for the systematic review, only five studies provided information on changes in the total training volume during the different periods of the sport season [19, 20, 23, 28, 30]. In general, the proportion of the total training time spent in each exercise-intensity zone slightly changed over the sport season. However, a small decrease [28, 30] or a substantial decrease [19, 20, 23] in total training volume was noted between preparatory and competitive periods. These adjustments in training volume are usually accompanied by a greater amount of high-intensity interval training sessions and tempo runs [42, 43, 51]. Therefore, although the training program of middle- and long-distance runners is built through continuous runs at low-intensity, a certain amount of training at high-intensity and tempo runs at competitive race pace is necessary to improve performance optimally. More specifically, these high-intensity training sessions

become more important when competitions are approaching [42, 43]. In this sense, some reviews have highlighted that high-intensity training associated with lower total volumes through tapering strategies during the pre-competitive period may enhance performance by improving muscle strength and power, restoring muscle glycogen stores, in addition to experiencing increases in oxidative enzyme activity, red blood cell volume, and circulating testosterone levels [52, 53].

Training characteristics for the different running events are also determined by the physiological demand of the specific race. As a result, half-marathoners and marathoners who perform their specific races at intensities close to or below LT_2 typically report greater total training volumes with proportionally more training sessions in zones 1 and 2, and less in zone 3 [29, 30]. In contrast, middle- and long-distance track runners who perform their specific races at intensities above LT_2 commonly report lesser total training volumes with proportionally a smaller number of training sessions in zones 1 and 2, and more in zone 3 [1, 19, 20, 25, 26, 28, 30]. This logic seems to be in line with recent studies that showed high participation of the anaerobic pathway in 800 m runners [54] and a high percentage of type II fibers in 1500 m runners [55]. Furthermore, studies that included middle- and long-distance runners have shown that longer events require greater total training volume, whereas shorter events require lower total training volume [25, 30]. In this way, the coach may modify TID guidance towards either a more pyramidal or polarized model according to the distance of the specific event targeted by the athlete.

Several studies have shown that competitive performance is strongly correlated with training time spent in zone 1 [6, 20, 42]. Indeed, training in zone 1, where low-intensity continuous training sessions are performed [6, 19, 20, 28, 30] contributes significantly to the total volume of the distance covered during system-

atic endurance training. Consequently, only the total training volume can explain 59 % of the variability of performance scores among world-class long-distance runners [42]. Low-intensity continuous training sessions are physiologically important for increasing the lactate oxidation rate [56], as well as improving the morphology and function of the mitochondria [57] and reducing the VO_2 slow component [58], in addition to working well as an active recovery method among heaviest training sessions [42]. To complement endurance training, middle- and long-distance runners commonly use tempo runs and high-intensity interval training in their workout routines [26, 42, 43]. Training sessions performed at intensities close to VO_2max (i. e. zone 3) may increase the aerobic potential of the type IIA fibers becoming more resistant to fatigue [20, 26]. In this line, Billat et al. [26] reported that high-level Kenyan runners who performed "high-speed training" (i. e. runners who performed training sessions at equal or higher speeds associated with vVO_2max) displayed greater VO_2max and vVO_2max values than their peers who performed "low-speed training" (i. e. runners who performed training sessions at speeds below vVO_2max). This result suggests that high-speed training may improve the muscular strength of runners and increase their ability to sustain fast running speeds [59], which may be important in the final stages of the race [26, 60]. Although a certain amount of tempo runs and high-intensity training sessions are necessary to optimize endurance performance, Billat et al. [27] reported that middle- and long-distance runners who performed three high-intensity interval training sessions at vVO_2max per week exhibited higher norepinephrine concentrations at the end of the run compared to a group who performed only one high-intensity interval training session per week. These results indicate that an endurance athlete systematically submitted to a large volume of high-intensity interval training may present a downregulation of the sympathetic nervous system [19, 20]. Therefore, considering that a decrease in catecholamine excretion might generate deregulation of intrinsic sympathetic activity [61], it is possible that athletes submitted to high workloads may present a reduced sensitivity to catecholamines, which could reduce cardiac output and their ability to divert blood flow to the active muscles during exercise [19, 20]. In this context, consistent data showed a reduction of at least 50 % of basal dopamine, norepinephrine, and epinephrine was accompanied by the overtraining syndrome in high-performance athletes [62]. Additionally, muscle and joint overload due to the fast running speed at which these types of training are performed should also be considered by coaches. As a result, a substantial amount of training must be used in zone 1 to reduce the risk of non-functional overreaching [4], overtraining [27, 43], or injury [43] caused by training sessions performed in zones 2 and 3. Finally, although several factors may contribute to the development of either a pyramidal or polarized TID model, there seems to be a consensus that high-volume training at low-intensity (i. e. $\geq 70\%$ of overall training volume) combined with low-volume training at threshold and high-intensity (i. e. $\leq 30\%$ of overall training volume) produces the optimal running performance [1, 6, 15, 19, 23, 25–30, 33], possibly due to the similarities between these training characteristics and the physical activity pattern of our ancestors [63].

Recent studies have observed that TID calculation differs depending on the method used for its quantification (i. e. blood lactate, HR,

s-RPE, race pace and running speed) [1, 6, 25] (► **SupMat Table S2**). However, training volume in zone 1 seems to be similarly calculated through all these methods (i. e. HR vs. running speed [1]; blood lactate vs. race pace [25]; and HR vs. s-RPE [6]). This is not surprising and may be associated with the kinetics of VO_2 and blood lactate concentration that reach their steady-state within 2–3 min at exercise intensities below LT_1 and VT_1 [64]. In contrast, Bellinger et al. [1] noted that s-RPE yielded a lower amount of training time spent in zone 1 than HR- and running speed-based TID quantification methods. These results may be justified by a recent study demonstrating that competitive swimmers reported s-RPE scores were increasing at the end of each interval training set during a prolonged session, despite swimming pace, HR, and blood lactate concentration remaining stable [65]. Therefore, middle- and long-distance runners might display specific RPE scores belonging to zone 2 or 3 during low-intensity continuous runs, if the duration of the training session would be longer, which would decrease the total time spent in zone 1 and increase the total time spent in zones 2 and 3. Nevertheless, the biggest discrepancies are present in zones 2 and 3 and may be related to the limitations of the methods to quantify TID in the training sessions that are performed at these zones. In this regard, consistent evidence has demonstrated a slow increase in HR during moderate to high workloads when the duration of the exercise is extended to more than 20 min [66]. This phenomenon known as cardiac drift may be potentiated by the temperature and relative humidity [67], which may affect TID quantification. Moreover, HR kinetics evolves slower than running pace with the increase of training intensity during high-intensity interval training sessions, so that lower training time spent in zone 3 and greater in zone 2 may be found through HR-based rather than running speed-based TID quantification methods [1]. In summary, there is no doubt that all TID quantification methods have their limitations, which makes it difficult to suggest a single specific method as the most accurate, valid, and reliable. These problems particularly emerge when the exercise-intensity prescription is based on only physiological responses during a GTX [68]. In this sense, coaches and researchers generally use absolute or relative intensities associated with ventilatory or lactate thresholds to prescribe running training [69]. The exercise intensity determined through laboratory tests overestimates the sustained workload during training sessions due to progressive changes in core temperature, catecholamines accumulation, progressive dehydration, or other factors related to the fatigue generated during the training process [68]. It is thus possible that adding perceptual information such as rating of perceived exertion [70] and talk test [71] collected during GTX, as well as during real-time training sessions, could help coaches and researchers to translate laboratory test responses and adjust workload more accurately throughout training sessions [68–71], thereby minimizing prescription mistakes. Studies have pointed out that athletes often perform their recovery sessions at a higher intensity than that intended by the coach, making it unable for them to achieve the preassigned intensity during high-intensity sessions [72, 73]. In this sense, TID quantification through running speed could help athletes adopt an appropriate "easy" training intensity according to specific coaching prescriptions. On the other hand, HR seems to be a viable method to quantify longer interval training sessions and long-distance runs [1], although coaches should consider that this quantification method may be strongly influenced by environmental conditions [66, 67]. Furthermore, some strategies, such as

adopting an approach directed to the main goal of the session, discarding the recovery period between the high-intensity interval training bouts [37], may increase the accuracy of training volume quantification in zone 3 through HR. Similarly, this same strategy may be adopted for TID quantification through s-RPE, in which athlete's responses should be collected after the main components of the training session (i.e. warm-up, main session, and cooldown) [1]. In this line, Foster et al. [72] emphasized that accounting for s-RPE at the different parts of the interval training sessions and tempo runs may be a useful strategy. Moreover, it has been highlighted that s-RPE may play a fundamental role as a method to quantify internal training load, mainly because it is sensitive to external factors such as volume and duration [65, 74], therefore providing additional information about the amount of accumulated fatigue not available from other markers of training load [75]. In this regard, if an endurance athlete displays symptoms of accumulated fatigue from previous training sessions, he/she may report increased s-RPE scores [1], while other measures of internal and external training load may keep stable [75]. Finally, we believe that the combined use of objective and subjective tools may decrease the risk of misinterpretation and help coaches and researchers to better quantify TID in endurance athletes, meanwhile, further research on this topic is still needed.

Randomized studies also compared physiological responses in the laboratory and field tests through time-trial performance in long-distance runners submitted to the classic TID models, i.e. pyramidal, polarized, and threshold [19, 22, 23] (► **SupMat Table S3**). Esteve-Lanao et al. [19] and Muñoz et al. [23] reported better time-trial performances in groups of runners who performed a pyramidal/polarized and polarized TID, respectively, compared to those who accumulated a much greater amount of training in zone 2. Although improvements in $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ and speed associated to LT_2 in sedentary individuals who performed continuous training close to anaerobic threshold have been reported [76], according to the present review a large proportion of training volume conducted at this intensity may neither improve performance optimally in well-trained endurance athletes. Therefore, it seems that a lower training volume at this intensity (i.e. $\leq 20\%$ of overall training volume) may be necessary to reduce the risks of overtraining [19]. It is postulated that the anaerobic threshold in well-trained endurance athletes engaged in systematic training occurs at a higher percent of $\dot{V}O_{2\text{max}}$ intensity (i.e. 75–90%) [77] than in sedentary individuals. Therefore, considering that these athletes usually perform a greater training volume than sedentary individuals, it is possible that a weekly training routine (i.e. $\geq 20\%$ of overall training volume) conducted at the anaerobic threshold might be very demanding, and therefore not produce greater adaptations compared to the use of greater volumes in zone 1 [19]. This may be the reason for which coaches usually prefer to use a lesser amount of training (i.e. $\leq 15\%$ of overall training volume) at threshold intensity within a threshold TID rather than using a threshold TID. Furthermore, zone 2 (between LT_1/VT_1 and LT_2/VT_2) seems to display a narrower running speed spectrum than zones 1 ($<LT_1/VT_1$) and 3 ($>LT_2/VT_2$). Thus, the characteristics of the zone make the accumulation of training volume in zone 2 particularly difficult. Festa et al. [22] verified that polarized and pyramidal TID improved time-trial performance and physiological parameters compared to baseline. We also noticed that several randomized studies used training protocols that aimed to increase the intensity through the prescription of intensive workloads [18], increasing the number

of high-intensity interval training sessions [27, 34], and CrossFit [8]. Although Enoksen et al. [18] have shown significant improvements in $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in the group of runners who performed HIGH compared to LOW and Carnes and Mahoney [8] have observed a faster time-trial performance in the CrossFit group compared to the polarized TID, most studies did not find significant changes in physiological and performance parameters when comparing high-intensity training with low-intensity and polarized models [22, 27, 34]. These findings might indicate that the exaggerated increase in high-intensity training does not lead to significant improvements in the long term. Hence, it seems that adaptations to high-intensity training occur quickly and might not be sustainable when this type of training is used within reasonably low volumes of training [19]. Furthermore, recent studies have shown more positive individual responses when athletes performed high-volume training at low-intensity compared to high-intensity interval training [17, 34]. According to the studies reviewed, we believe that a high-volume at low-intensity training program associated with a low-volume at threshold and high-intensity training seems to be the most optimal combination to improve endurance performance. An important limitation was found in some randomized studies in which the TID model characterized by the authors as polarized showed an excessive amount of training in zone 2 [8, 34]. This may be potentially important because an effective polarized TID is necessarily composed of a high proportion of low-intensity training [78]. Thus, we believe that in these studies [8, 34], athletes performed a high proportion of high-intensity training. This circumstance does not allow the comparison between TID models in these studies with those available in the current literature and, therefore, their results cannot be extrapolated.

The present systematic review also has important limitations that are inherent to the differences of the studies presented. First, while the current literature highlights the predominance of a pyramidal TID over threshold and polarized TID models, it is important to consider that this likely occurs due to the characteristics of the TID quantification methods used. This limitation makes establishing specific conclusions difficult since the studies analyzed quite diversified TID quantification methods. Second, TID and volume in middle- and long-distance runners were analyzed altogether. Although we recognize that training characteristics by both groups are typically different, only 4 of the 17 studies selected for the systematic review included middle-distance runners in their sample [1, 25, 27, 33], which made analyzing the groups separately difficult. And finally, the three-zone model often used to quantify TID in the studies analyzed does not allow for accounting for the important differences in training load within each zone, especially in zone 3. This issue has been recently highlighted in a recent study suggesting that this model fails to account for non-linearities in the biological response to stress [79].

Practical Applications

Given the qualities and limitations inherent to each TID quantification method, we highlight the importance of monitoring training responses via multiple mechanisms [68] often including the comparison between external (i.e. running speed) and internal (i.e. s-RPE) load parameters [80] to assist the coach to make adequate decisions during the training process [50]. In this way, we believe that running speed may be an attractive method to quantify TID

from the perspective of verifying whether the training prescribed based on physiological benchmarks was actually performed by the athlete. Although HR is a widely used TID quantification method, perhaps it is a more suitable tool to monitor adaptations over the sport season. Thus, either a faster speed for a given distance with same HR or a decreased HR for a given speed and distance would represent a positive adaptation to training [50]. Moreover, due to the complex interaction among the psychophysiological variables that make up endurance training in middle- and long-distance runners, coaches should include the s-RPE daily to globally understand [72] how their athletes respond to the external load implemented during the training session. It may be that an approach aiming to evaluate the s-RPE of each of the main parts of the training session (i. e. warm-up, main session, and cooldown) is useful to accurately quantify high-intensity interval training sessions and tempo runs [1, 72]. Other components of endurance training, such as physical performance tests and competitions throughout the sport season, should be considered for the TID quantification. In this regard, Boullosa et al. [78] explained that a high number of performance tests, when added to the planned training program, may lead to an excessive increase in the training load. Furthermore, other consistent data have indicated that running competitions are performed predominantly at exercise intensities $\geq 90\%$ HR_{max} [19, 20]. These competitions become quite demanding because they are performed in zone 3, and so there is a need to account for and include them in the volume and TID quantification process as part of the whole training content. Surprisingly, training load derived from methods such as strength training [19, 20, 23], plyometric or explosive strength training [19, 20, 23], and uphill interval training [19, 20] was not accounted for in the quantification. Hence, we suggest that physical performance tests, uphill interval training, and competitions may be easily accounted using the quantification methods presented here (i. e. running speed, HR, and s-RPE). In contrast, strength training and plyometric/explosive training should be considered separately from endurance training [81], and s-RPE may be used to quantify these contents [82, 83]. We therefore believe that the ability of s-RPE to quantify different training contents can help coaches to group training responses simply through a single tool, allowing their global understanding and contributing to the improvement of the decision-making process.

Conclusions

Current evidence indicates that TID assessment may result in different outcomes depending on the method used for its quantification (i. e. running speed, race pace, HR, and s-RPE). Outcomes of the amount of training at zones 2 and 3 seem to be most affected when HR is used as a TID quantification method due to the presence of interval training at threshold intensity and high-intensity interval training. Although calculation of training volume in zone 1 seems to be the most stable regardless of the TID quantification method used, endurance athletes may perceive their continuous training session in zone 2 or 3 instead of zone 1, because s-RPE is extremely influenced by the total volume of the training session. Whereas there is evidence that pyramidal and polarized TID yield a greater improvement in endurance performance than threshold TID, we speculate that high-volume at low-intensity

(i. e. $\geq 70\%$ of overall training volume) combined with a low-volume at threshold and high-intensity interval training (i. e. $\leq 30\%$ of overall training volume) is necessary to achieve the optimal running performance and reduce the risk of non-functional overreaching, overtraining, and injury in endurance runners. Furthermore, future studies should not attempt to find an "ideal TID model," but instead identify applications of existing models in the different phases of the sport season and in the context of the different target race distances (i. e. from 800 m to marathon).

Acknowledgements

We thank the Federal University of Juiz de Fora for the PhD scholarships.

Funding

This study also was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Finance Code 001.

Conflict of Interest

We declare that there are no conflicts of interest relevant to the content of this systematic review. The review was prepared based on the ethical standards of the International Journal of Sports Medicine [84].

References

- [1] Bellinger P, Arnold B, Minahan C. Quantifying the training-intensity distribution in middle-distance runners: The influence of different methods of training-intensity quantification. *Int J Sports Physiol Perform* 2019; 15: 319–323
- [2] Nelson MJ, Bellenger CR, Thomson RL et al. Optimisation of assessment of maximal rate of heart rate increase for tracking training-induced changes in endurance exercise performance. *Sci Rep* 2020; 10: 2528
- [3] Mujika I. Quantification of training and competition loads in endurance sports: methods and applications. *Int J Sports Physiol Perform* 2017; 12: 529–5217
- [4] Bellinger P. Functional overreaching in endurance athletes: A necessity or cause for concern? *Sports Med* 2020; 50: 1059–1073
- [5] Cadegiani FA, Kater CE. Hormonal aspects of overtraining syndrome: A systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2017; 9: 14
- [6] Manzi V, Bovenzi A, Castagna C et al. Training-load distribution in endurance runners: objective versus subjective assessment. *Int J Sports Physiol Perform* 2015; 10: 1023–1028
- [7] Stöggl TL, Sperlich B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front Physiol* 2015; 6: 295
- [8] Carnes AJ, Mahoney SE. Polarized versus high-intensity multimodal training in recreational runners. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 14: 105–112
- [9] Kenneally M, Casado A, Santos-Concejero J. The effect of periodization and training intensity distribution on middle- and long-distance running performance: A systematic review. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 13: 1114–1121

- [10] Bourgois JG, Bourgois G, Boone J. Perspectives and determinants for training-intensity distribution in elite endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 2019; 14: 1151–1156
- [11] Jones AM, Kirby BS, Clark IE et al. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. *J Appl Physiol* (1985) 2020; 30: 369–379
- [12] Joyner MJ, Hunter SK, Lucia A et al. Physiology and fast marathons. *J Appl Physiol* (1985) 2020; 28: 1065–1068
- [13] Mann T, Lamberts RP, Lambert MI. Methods of prescribing relative exercise intensity: Physiological and practical considerations. *Sports Med* 2013; 43: 613–625
- [14] Jamnick NA, Pettitt RW, Granata C et al. An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports Med* 2020; 50: 1729–1756
- [15] Clemente Suárez VJ, González-Ravé JM. Four weeks of training with different aerobic workload distributions—Effect on aerobic performance. *Eur J Sport Sci* 2014; 14: 51–57
- [16] Clemente Suárez VJ, Dalamitros AA, Nikolaidis PT. The effect of a short-term training period on physiological parameters and running performance: Intensity distribution versus constant-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 2018; 58: 1–7
- [17] Düking P, Holmberg H-C, Kunz P et al. Intra-individual physiological response of recreational runners to different training mesocycles: A randomized cross-over study. *Eur J Appl Physiol* 2020; 120: 2705–2713
- [18] Enoksen E, Shalfawi SA, Tønnessen E. The effect of high-vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 812–818
- [19] Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S et al. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 943–949
- [20] Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP et al. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 496–504
- [21] Farrell JW 3rd, Dunn A, Cantrell GS et al. Effects of group running on the training intensity distribution of collegiate cross-country runners. *J Strength Cond Res* 2021; 35: 2862–2869
- [22] Festa L, Tarperi C, Skroce K et al. Effects of different training intensity distribution in recreational runners. *Front Sports Act Living* 2020; 1: 70
- [23] Muñoz I, Seiler S, Bautista J et al. Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int J Sports Physiol Perform* 2014; 9: 265–272
- [24] Sanders D, Myers T, Akubat I. Training-intensity distribution in road cyclists: Objective versus subjective measures. *Int J Sports Physiol Perform* 2017; 12: 1232–1237
- [25] Kenneally M, Casado A, Gomez-Ezeiza J et al. Training intensity distribution analysis by race pace vs. physiological approach in world-class middle-and long-distance runners. *Eur J Sport Sci* 2021; 21: 819–826
- [26] Billat V, Lepretre P-M, Heugas A-M et al. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 297–304
- [27] Billat VL, Flechet B, Petit B et al. Interval training at VO_{2max} : Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 156–163
- [28] Tjelta LI, Enoksen E. Training characteristics of male junior cross country and track runners on European top level. *Int J Sports Sci Coach* 2010; 5: 193–203
- [29] Billat VL, Demarle A, Slawinski J et al. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 2089–2097
- [30] Enoksen E, Tjelta AR, Tjelta LI. Distribution of training volume and intensity of elite male and female track and marathon runners. *Int J Sports Sci Coach* 2011; 6: 273–293
- [31] Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979; 42: 25–34
- [32] Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport* 1980; 51: 234–248
- [33] Galbraith A, Hopker J, Cardinale M et al. A 1-year study of endurance runners: Training, laboratory tests, and field tests. *Int J Sports Physiol Perform* 2014; 9: 1019–1025
- [34] Zinner C, Schäfer DO, Sperlich B. Mesocycles with different training intensity distribution in recreational runners. *Med Sci Sports Exerc* 2018; 50: 1641–1648
- [35] Robinson DM, Robinson SM, Hume PA et al. Training intensity of elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23: 1078–1082
- [36] Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform* 2010; 5: 276–291
- [37] Seiler KS, Kjerland GO. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scand J Med Sci Sports* 2006; 16: 49–56
- [38] Foster C, Daines E, Hector L et al. Athletic performance in relation to training load. *Wis Med J* 1996; 95: 370–374
- [39] Hydren JR, Cohen BS. Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *J Strength Cond Res* 2015; 29: 3523–3530
- [40] Rosenblat MA, Perrotta AS, Vicenzino B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Strength Cond Res* 2019; 33: 3491–3500
- [41] Stögg T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol* 2014; 5: 33
- [42] Casado A, Hanley B, Santos-Concejero J et al. World-class long-distance running performances are best predicted by volume of easy runs and deliberate practice of short interval and tempo runs. *J Strength Cond Res* 2021; 35: 2525–2531
- [43] Casado A, Hanley B, Ruiz-Pérez LM. Deliberate practice in training differentiates the best Kenyan and Spanish long-distance runners. *Eur J Sport Sci* 2019; 20: 887–895
- [44] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med* 2009; 6: e1000100
- [45] Brown P, Brunnhuber K, Chalkidou K et al. How to formulate research recommendations. *BMJ* 2006; 333: 804–806
- [46] Thompson SW, Rogerson D, Ruddock A et al. The effectiveness of two methods of prescribing load on maximal strength development: A systematic review. *Sports Med* 2020; 50: 919–938
- [47] Marocolo M, Simini MAM, Bernardino A et al. Ischemic preconditioning and exercise performance: Shedding light through smallest worthwhile change. *Eur J Appl Physiol* 2019; 119: 2123–2149
- [48] Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 1998; 52: 377–384
- [49] Van Velzen J, van Bennekom CA, Polomski W et al. Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: A systematic review. *Clin Rehabil* 2006; 20: 999–1016
- [50] Boullosa D, Esteve-Lanao J, Casado A et al. Factors affecting training and physical performance in recreational endurance runners. *Sports (Basel)* 2020; 8: 35
- [51] Tjelta LI. Three Norwegian brothers all European 1500 m champions: What is the secret? *Int J Sports Sci Coach* 2019; 14: 694–700

- [52] Mujika I. Intense training: The key to optimal performance before and during the taper. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 24–31
- [53] Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 1182–1187
- [54] Bachero-Mena B, González-Badillo JJ. Mechanical and metabolic responses during high-intensity training in elite 800-m Runners. *Int J Sports Med* 2021; 42: 350–356
- [55] Bellinger P, Derave W, Lievens E et al. Determinants of last lap speed in paced and maximal 1500-m time trials. *Eur J Appl Physiol* 2021; 121: 525–537
- [56] González-Mohino F, González-Ravé JM, Juárez D et al. Effects of continuous and interval training on running economy, maximal aerobic speed and gait kinematics in recreational runners. *J Strength Cond Res* 2016; 30: 1059–1066
- [57] Saunders PU, Pyne DB, Telford RD et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 2004; 34: 465–485
- [58] Jones AM, Burnley M. Oxygen uptake kinetics: An underappreciated determinant of exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform* 2009; 4: 524–532
- [59] Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the $\dot{V}O_2$ max test predicts running performance. *J Sports Sci* 1990; 8: 35–45
- [60] Renfree A, Casado A, Pellejero C et al. More pace variation and pack formation in successful world-class 10 000-m runners than in less successful competitors. *Int J Sports Physiol Perform* 2020; 15: 1369–1376
- [61] Lehmann M, Gastmann U, Petersen K et al. Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle-and long-distance runners. *Br J Sports Med* 1992; 26: 233–242
- [62] Lehmann M, Schnee W, Scheu R et al. Decreased nocturnal catecholamine excretion: Parameter for an overtraining syndrome in athletes? *Int J Sports Med* 1992; 13: 236–242
- [63] Boulosa DA, Abreu L, Varela-Sanz A et al. Do olympic athletes train as in the Paleolithic era? *Sports Med* 2013; 43: 909–917
- [64] Galán-Rioja MÁ, González-Mohino F, Poole DC et al. Relative proximity of critical power and metabolic/ventilatory thresholds: Systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2020; 50: 1771–1783
- [65] Fusco A, Knutson C, King C et al. Session RPE during prolonged exercise training. *Int J Sports Physiol Perform* 2020; 15: 292–294
- [66] Gilman M. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Med* 1996; 21: 73–79
- [67] Lambert M, Mbambo Z, Gibson ASC. Heart rate during training and competition for longdistance running. *J Sports Sci* 1998; 16: 85–90
- [68] Foster C, Anholm JD, Bok D et al. Generalized approach to translating exercise tests and prescribing exercise. *J Funct Morphol Kinesiol* 2020; 5: 63
- [69] Jeans EA, Foster C, Porcari JP et al. Translation of exercise testing to exercise prescription using the talk test. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 590–596
- [70] Parfitt G, Evans H, Eston R. Perceptually regulated training at RPE13 is pleasant and improves physical health. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 1613–1618
- [71] Woltmann ML, Foster C, Porcari JP et al. Evidence that the talk test can be used to regulate exercise intensity. *J Strength Cond Res* 2015; 29: 1248–1254
- [72] Foster C, Boulosa D, McGuigan M et al. 25 Years of session rating of perceived exertion: Historical perspective and development. *Int J Sports Physiol Perform* 2021; 16: 612–621
- [73] Foster C, Heimann, Kara M et al. Differences in perceptions of training by coaches and athletes. *S Afr J Sports Med* 2001; 8: 3–7
- [74] Swart J, Lamberts RP, Lambert MI et al. Exercising with reserve: Exercise regulation by perceived exertion in relation to duration of exercise and knowledge of endpoint. *Br J Sports Med* 2009; 43: 775–781
- [75] Fusco A, Sustercich W, Edgerton K et al. Effect of progressive fatigue on session RPE. *J Funct Morphol Kinesiol* 2020; 5: 15
- [76] Edge J, Bishop D, Goodman C. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96: 97–105
- [77] Jones AM, Burnley M, Black MI et al. The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiol Rep* 2019; 7: e14098
- [78] Boulosa D, Esteve-Lanao J, Seiler S. Potential confounding effects of intensity on training response. *Med Sci Sports Exerc* 2019; 51: 1973–1974
- [79] Renfree A, Casado A, McLaren S. Re-thinking athlete training loads: Would you rather have one big rock or lots of little rocks dropped on your foot? *Res Sports Med* 2021. Online ahead of print. doi:10.1080/15438627.2021.1906672
- [80] Foster C, Rodríguez-Marroyo JA, De Koning JJ. Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *Int J Sports Physiol Perform* 2017; 12: 522–528
- [81] Tønnessen E, Sylta O, Haugen TA et al. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One* 2014; 9: e101796
- [82] Asadi A. Use of rating of perceived exertion for determining plyometric exercises intensity in physically active men. *Sport Sci Health* 2014; 10: 75–78
- [83] McGuigan MR, Foster C. A new approach to monitoring resistance training. *Strength Cond J* 2004; 26: 42–47
- [84] Harriss D, MacSween A, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *Int J Sports Med* 2019; 40: 813–817

Supplementary Material

Table S1 Analysis of the main results in the retrospective studies included in this systematic review.

References	Subjects' characteristics	Objective	Training-intensity classifications	Training-intensity zones	Training-intensity distributions	Training volume (km·week ⁻¹)
Billat et al. [29]	French (n=9) and Portuguese (n=11) male and female marathoners VO ₂ max: 69.8 ± 11.0 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (male) (n=10) – 62.6 ± 4.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (female) (n=10)	To compare the physical and training characteristics of top-class (n=10) and high-level marathon runners (n=10)	Running marathon pace	Z1: <marathon pace Z2: =marathon pace Z3: >marathon pace	Z1: 78% Z2: 4% Z3: 18%	Top-class marathoners (males): 206 ± 26 Top-class marathoners (females): 166 ± 11 High-level marathoners (males): 168 ± 20 High-level marathoners (females): 150 ± 17
Billat et al. [26]	Male (n=13) and female (n=7) Kenyan runners of international level competing in 10-km cross-country events VO ₂ max: 78.4 ± 2.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (male) – 68.6 ± 1.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (female)	To compare the training characteristics and the physical profiles of top-class male and female long-distance runners	Running speed time-in-zones	Z1: <vLT Z2: vLT Z3: vΔ50%-vLT to vVO ₂ max Z4: ≥vVO ₂ max	Before of the 10-km Kenyan cross-country Championships High speed training: Z1: 83.8% Z2: 6.9% Z3: 9.3% Z4: 0.0% Low speed training: Z1: 84.2% Z2: 14.4% Z3: 1.4% Z4: 0.0%	High speed training (males): 158 ± 19 High speed training (females): 127 ± 8 Low speed training (males): 174 ± 17 Low speed training (females): -

Electronic reprint for personal use

Table S1 Continued

References	Subjects' characteristics	Objective	Training-intensity classifications	Training-intensity zones	Training-intensity distributions	Training volume (km·week ⁻¹)
Tjelta and Enoksen [28]	Male junior runners of international level (n=4) competing in a distance of 1,500 to 5,000m on the track and between 5- to 8-km in cross-country races VO ₂ max: 72.9 ± 4.8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	To describe the training-intensity distribution during the building-up period, track competition season and cross-country competition season	Running pace, lactate and %HR _{max}	Z1: easy and moderate running pace; 0.7-2.0mmolL ⁻¹ lactate; 62-82%HR _{max} Z2: Marathon and ½ marathon pace; 2.0-4.5 mmolL ⁻¹ lactate; 82-92%HR _{max} Z3: 10,000-3,000m pace; 4.5-8.0mmolL ⁻¹ lactate; 92-97%HR _{max} Z4: 1,500-400m pace; above 8.0 mmolL ⁻¹ lactate; 97-100%HR _{max} Z5: sprint	Building-up period: Z1: 78.3% Z2: 19.6% Z3: 1.3% Z4: - Z5: 0.5% Track competition season: Z1: 81.4% Z2: 11.7% Z3: 4.8% Z4: 0.9% Z5: 1.2% Cross-country competition season: Z1: 78.1% Z2: 17.9% Z3: 2.9% Z4: - Z5: 1.0%	Building-up period: 132.5 ± 25.9 Track competition season: 115.1 ± 20.4 Cross-country competition season: 145 ± 22.9

Table S1 Continued

References	Subjects' characteristics	Objective	Training-intensity classifications	Training-intensity zones	Training-intensity distributions	Training volume (km·week ⁻¹)
Enoksen et al. [30]	Male (n=3) and female (n=3) runners of international level (n=6) competing at between 3,000 to 10,000m track events, as well as half-marathoners and marathoners VO ₂ max: (not specified)	To describe the training-intensity distribution during the preparation, pre-competitive and competitive periods	Z1: easy and moderate running pace; 0.7-2.0 mmolL ⁻¹ lactate; 62-82%HR _{max} Z2: marathon pace; 2.0-3.0 mmolL ⁻¹ lactate; 82-87%HR _{max} Z3: ½ marathon pace; 3.0-4.5 mmolL ⁻¹ lactate; 87-92%HR _{max} Z4: 10,000m pace; 4.5-7.0 mmolL ⁻¹ lactate; 92-95%HR _{max} Z5: 5,000-3,000m pace; 7.0-11.0 mmolL ⁻¹ lactate; 95-100%HR _{max} Z6: 1,500-800m pace; >11.0 mmolL ⁻¹ lactate; 100%HR _{max} Z7: sprint	Marathon runners Preparation period: Z1: 83.6% Z2: 12.7% Z3: - Z4: 2.5% Z5: - Z6: - Z7: 1.2% Pre-competitive period: Z1: 84.7% Z2: 11.5% Z3: - Z4: 2.3% Z5: - Z6: 0.3% Z7: 1.2% Competitive period: Z1: 79.9% Z2: 13.1% Z3: 4.1% Z4: - Z5: 1.0% Z6: 0.7% Z7: 1.3%	Track runners Preparation period: Z1: 76.4% Z2: 12.5% Z3: 7.1% Z4: - Z5: 2.7% Z6: - Z7: 1.3% Pre-competitive period: Z1: 79% Z2: 6.5% Z3: 8% Z4: - Z5: 1.7% Z6: 2.9% Z7: 1.8% Competitive period: Z1: 80.8% Z2: 6.9% Z3: 6.2% Z4: 0.3% Z5: 4.0% Z6: 0.9% Z7: 1.3%	Marathon runners Preparation period: 186.6 ± 25.7 Pre-competitive period: 187.6 ± 18.9 Competitive period: 173.3 ± 5.9 Track runners Preparation period: 161 ± 11 Pre-competitive period: 167.3 ± 3 Competitive period: 148.1 ± 16.1

Note: HR: heart rate; HR_{max}: maximal heart rate; vLT: running speed associated with lactate threshold; VO₂max: maximal oxygen uptake; vVO₂max: running speed at maximal oxygen uptake; vΔ50%: intermediate running speed between vLT and vVO₂max; Z: zone; %HR_{max}: maximal heart rate percentage.

Table S2 Analysis of the main results in the longitudinal studies included in this systematic review.

References	Subjects' characteristics	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Esteve-Lanao et al. [20]	Runners of national and regional level (n=8) competing at between 1,500 to 5,000m VO ₂ max: 70.0 ± 7.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <RCT Z3: >RCT	Z1: 71% Z2: 21% Z3: 8%	24-week	Preparatory period: 90 to 100 Specific period: 90 Competitive period: 40 to 50	Running speed at Z1 (~VT ₁), Z2 (equidistant speed between VT ₁ and RCT), Z3 (~RCT), 300m test, and 20m test	Running speed at Z2: +6.5% (p<0.05) Running speed at Z3: +10.2% (p=0.05)
Galbraith et al. [33]	Male middle- and long-distance well-trained runners (n=14) VO ₂ max: 69.8 ± 6.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	2 parameters: HR time-in-zone and running speed in zone	Z1: <LT ₁ Z2: >LT ₁ <OBLA Z3: >OBLA	Z1: 68.8% Z2: 17.4% Z3: 13.8%	1-year	Could not define	Running speed at LT ₁ , VO ₂ at 16 km·h ⁻¹ (RE), VO ₂ max, and critical speed	VO ₂ max: +6.4% vs. baseline (p<0.01) Critical speed: +6.5% vs. baseline (p=0.02)
Manzi et al. [6]	Male recreationally-trained marathoners (n=7) VO ₂ max: (not specified)	2 parameters: HR time-in-zone (Z _{HR}) RPE (CR-10 scale) in zone (Z _{RPE})	Z1 _{HR} : <2mmolL ⁻¹ Z2 _{HR} : 2-4mmolL ⁻¹ Z3 _{HR} : >4mmolL ⁻¹ Z1 _{RPE} : <4 Z2 _{RPE} : >4 <5.5 Z3 _{RPE} : >5.5	Z1 _{HR} : 76.3% Z2 _{HR} : 17.4% Z3 _{HR} : 6.3% Z1 _{RPE} : 69.6% Z2 _{RPE} : 27.8% Z3 _{RPE} : 2.6%	8-week (~4-6 d·wk ⁻¹)	1-week: 50 8-week: 79	To compare during the intervention Z _{HR} vs. Z _{RPE}	Z1 _{HR} vs. Z1 _{RPE} : p=0.07 Z2 _{RPE} vs. Z2 _{HR} : p=0.02 Z3 _{HR} vs. Z3 _{RPE} : p=0.001

Table S2 Continued.

References	Subjects' characteristics	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km-week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Farrell et al. [21]	Male (n=8) and female (n=8) well- and highly-trained cross-country runners. Members of the NCAA Division I. VO _{2peak} : 64.8 ± 4.5 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (male) – 53.0 ± 4.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (female)	HR time-in-zone	Z1: <LT ₁ /2mmolL ⁻¹ Z2: >LT ₁ /2mmolL ⁻¹ Z3: <LT ₂ /4mmolL ⁻¹ Z3: >LT ₂ /4mmolL ⁻¹	Male: Z1: 86.3% Z2: 8.4% Z3: 5.3% Female: Z1: 79.6% Z2: 12.4% Z3: 7.6%	5-week	Male cross-country runners: 132 ± 24.8 Female cross-country runners: 81.6 ± 7.3	VO _{2peak} , running speed, HR, and VO ₂ at LT ₁ and LT ₂	Male: VO _{2peak} : (p=0.03; +5.5%) Running speed at LT ₁ : +5.6% (p<0.01) Running speed at LT ₂ : +4.3% (p=0.007) VO ₂ at 2mmolL ⁻¹ : +7.7% (p=0.010) Female: Running speed at VO _{2peak} : +8.5% (p=0.09) LT ₂ : +2.4% (p=0.017); VO ₂ at LT ₂ : +6.4% (p=0.038)

Table S2 Continued.

References	Subjects' characteristics	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Bellinger et al. [1]	Male (n=10) and female (n=4) highly-trained middle-distance runners competing between 800 to 1,500m VO ₂ max: 72.0 ± 4.7 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (male) – 64.6 ± 0.5 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (female)	3 parameters: RPE (CR-10 scale) in zone (Z _{RPE}); HR time-in-zone (Z _{HR}); Running speed in zone (Z _{RS})	Z1: <GET (1-4 RPE) Z2: GET-RCT (5-6 RPE) Z3: >RCT (7-10 RPE)	Z1 _{RPE} : 38.9% Z2 _{RPE} : 32.5% Z3 _{RPE} : 28.5% Z1 _{HR} : 79.0% Z2 _{HR} : 17.4% Z3 _{HR} : 3.6% Z1 _{RS} : 79.2% Z2 _{RS} : 5.5% Z3 _{RS} : 15.3%	8-week (6 d·wk ⁻¹)	Male runners: 80.5 ± 23.5 Female runners: 68.4 ± 9.4	To compare three different methods of training-intensity quantification (Z _{HR} vs. Z _{RPE} vs. Z _{RS})	Z1 _{HR} vs. Z1 _{RPE} : p<0.001 Z1 _{RS} vs. Z1 _{RPE} : p<0.001 Z2 _{RPE} vs. Z2 _{HR} : p<0.001 Z2 _{RPE} vs. Z2 _{RS} : p<0.001 Z3 _{RPE} vs. Z3 _{HR} : p<0.001 Z3 _{RPE} vs. Z3 _{RS} : p<0.001 Z3 _{RS} vs. Z3 _{HR} : p<0.001

Table S2 Continued

References	Subjects' characteristics	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Kenneally et al. [25]	Male (n=3) and female (n=4) world-class middle-distance runners (800 to 1,500m) and long-distance runners (5,000 to 10,000m) VO ₂ max: 73.8 ± 2.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (male) – 61.4 ± 4.2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (female)	2 parameters: Lactate threshold in zone (Z _{LT}); race pace in zone (Z _{RP})	Z1: <LT ₁ /80% RP Z2: LT ₁ to LT ₂ /80-95% RP Z3: >LT ₂ /95% RP	Z _{1RP} : 88.5% Z _{2RP} : 7.4% Z _{3RP} : 4.1% Z _{1LT} : 87.2% Z _{2LT} : 6.1% Z _{3LT} : 6.6%	50-week	Middle-distance runners: 127.4 ± 28.7 Long-distance runners: 145.9 ± 27.9	To analyze the training intensity distribution using two different approaches to organize zones: Individual race pace and physiological parameters (Z _{LT} vs. Z _{RP})	For the group of middle-distance runners 800/1,500m: Z _{2RP} vs. Z _{2LT} (ES=0.63) Z _{3LT} vs. Z _{3RP} (ES=0.61) For the group of long-distance runners 5,000/10,000m: Z _{2RP} vs. Z _{2LT} (ES= 1.20) Z _{3RP} vs. Z _{3LT} (ES=0.93)

Note: ES: effect size; GET: gas exchange threshold; HR: heart rate; LT₁: first lactate threshold; LT₂: second lactate threshold; OBLA: onset of blood lactate accumulation; RCT: respiratory compensation threshold; RE: running economy; RP: race pace; RPE: rating of perceived exertion; VO₂: oxygen uptake; VO₂peak: peak oxygen uptake; VO₂max: maximal oxygen uptake; VT₁: first ventilatory threshold; Z: zone.

Electronic reprint for personal use

Table S3. Randomized studies that compare different training-intensity distributions included in this systematic review.

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Billat et al. [27]	Male middle- and long-distance runners well-trained (n=8) VO ₂ max: 71.2 ± 5 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	EG1: Normal interval training (n=8) EG2: Overload interval training (n=8)	Running speed time-in-zone	Z1: <OBLA (85% vVO ₂ max) Z2: OBLA (85% vVO ₂ max) Z3: vVO ₂ max	Normal interval training (EG1): Z1: 81.0% Z2: 13.1% Z3: 5.9% Overload interval training (EG2): Z1: 67.9% Z2: 13.6% Z3: 18.5%	4-week	Baseline training: 85 to 90 EG1: 85 EG2: 85	Running speed, HR, VO ₂ , VO ₂ HR ⁻¹ , VE, RER, and lactate at 14 km·h ⁻¹ , running speed and lactate at 14 km·h ⁻¹ , OBLA, running speed, VO ₂ , and TTE at VO ₂ max	HR at 14 km·h ⁻¹ : EG1: -4.3% (p<0.05) EG2: -7.4% (p<0.05) VO ₂ at 14 km·h ⁻¹ : EC1: -6.1% (p<0.05) EG2: -9.2% (p<0.05) vVO ₂ max: EG1: +2.9% (p<0.05) EG2: +2.0% (p<0.05)
Esteve-Lanao et al. [19]	Distance runners of national and regional level competing 5000m in track events and 9 to 12-km in cross-country races (n=12) VO ₂ max: 68.6 ± 2.4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) - 70.3 ± 2.6 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2)	EG1: Pyramidal (n=6) EG2: Threshold (n=6)	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <RCT Z3: >RCT	Pyramidal/polarized (EG1): Z1: 80.5% Z2: 11.8% Z3: 8.3% Threshold (EG2): Z1: 66.8% Z2: 24.7% Z3: 8.5%	21-week	Preparatory period: 120 Competition period: 40 to 50 Over the study period: 80 to 90	10,400m time-trial test, VO ₂ max, vVO ₂ max, %VO ₂ max and HR at VT ₁ , and RCT intensities	10,400m time-trial test: effect for time (p=0.03) Magnitude of improvement greater in EG1 vs. EG2

Table S3 Continued

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km-week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Enoksen et al. [18]	Male middle- and long-distance runners well-trained (n=26) VO ₂ max: 70.4 ± 3.8 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) - 70.2 ± 2.7 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2)	EG1: High-volume low-intensity (n=13) EG2: High-intensity low-volume (n=13)	HR time-in-zone	Z1: 65-82% HR _{max} Z2: 82-92% HR _{max} Z3: >92% HR _{max}	LOW (EG1): Z1: 87.0% Z2: 13.0% Z3: - HIGH (EG2): Z1: 67.0% Z2: 33.0% Z3: -	10-week	LOW: 70 HIGH: 50	VO ₂ at 9, 10, 11.5, 13, 14.5 and 16 km·h ⁻¹ , running speed and %VO ₂ max at LT, VO ₂ max, and vVO ₂ max	VO ₂ at 9 km·h ⁻¹ : EG2: -5.0% (p<0.05) VO ₂ at 10 km·h ⁻¹ : EG1: -4.9% (p<0.05) EG2: -4.6% (p<0.05) VO ₂ at 11.5 km·h ⁻¹ : EG1: -4.3% (p<0.05) VO ₂ at 13 km·h ⁻¹ : EG1: -4.2% (p<0.05) EG2: -4.7% (p<0.05) VO ₂ at 14.5 km·h ⁻¹ : EG1: -4.5% (p<0.05) EG2: -3.2% (p<0.05) VO ₂ at 16 km·h ⁻¹ : EG1: -3.9% (p<0.05) EG2: -2.6% (p<0.05) Running speed at LT: EG2: +4.8% (p<0.05) vVO ₂ max: +5.0% (p<0.05)

Table S3 Continued

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Muñoz et al. [23]	Recreationally-trained distance runners (10-km to half-marathon) n=30 VO ₂ max: 61.0 ± 8.4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) – 64.1 ± 7.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2)	EG1: Polarized (n=15) EG2: Threshold (n=15)	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <RCT Z3: >RCT	Polarized (EG1): Z1: 72.9% Z2: 13.5% Z3: 13.6% Threshold (EG2): Z1: 46.8% Z2: 37.3% Z3: 15.8%	10-week (5-6 d·wk ⁻¹)	Specific period: 70 Final training week: 30 Over the study period: 50	10,000m time-trial test	EG1: -5.0% (p<0.001) EG2: -3.5% (p<0.001)
Clemente Suárez and González-Rave [15]	Male recreationally-trained distance runners (n=30) VO ₂ max: 55.6 ± 8.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) – 54.1 ± 9.0 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2) – 59.1 ± 8.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG3)	EG1: Constant intensity (n=10) EG2: Incremental intensity (n=10) EG3: Free training (n=10)	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <VT ₂ Z3: >VT ₂	Constant intensity (EG1): Z1: 81.1% Z2: 12.1% Z3: 6.7% Incremental intensity (EG2): Z1: 78.7% Z2: 14.4% Z3: 6.8% Free training (EG3): Z1: 69.0% Z2: 23.6% Z3: 7.2%	4-weeks (5 d·wk ⁻¹)	Volume not reported in km	Running speed, VO ₂ and HR at VT ₁ , VT ₂ and VO ₂ max intensities	VT ₁ : EG2: -8.8% VO ₂ (L·min ⁻¹) EG3: -11.9% VO ₂ (L·min ⁻¹) and -11.3 VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) VT ₂ : EG1: -2.4% HR EG2: -8.4% VO ₂ (L·min ⁻¹)

Table S3 Continued

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km-week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Clemente Suárez et al. [16]	Male recreationally-trained distance runners (n=30) VO ₂ max: (not specified)	EG1: Intensity weekly increased (n=10) EG2: Constant weekly intensity (n=10) EG3: Freely chosen training (n=10)	HR time-in-zone	Z1: <2mmol·L ⁻¹ Z2: 2-4mmol·L ⁻¹ Z3: >4mmol·L ⁻¹	Intensity weekly increased (EG1): Z1: 78.9% Z2: 14.0% Z3: 7.1% Constant weekly intensity (EG2): Z1: 81.7% Z2: 12.7% Z3: 5.6% Freely chosen training (EG3): Z1: 69.4% Z2: 23.6% Z3: 7.0%	4-week	Volume not reported in km	Running speed, HR, and RPE at 2.5, 4, and 8mmol·L ⁻¹	HR at 4mmol·L ⁻¹ : EG2: -9.0% (p=0.033) Running speed at 8mmol·L ⁻¹ : EG1: +1.5% (p=0.047)

Table S3 Continued

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Carnes and Mahoney [8]	Male (n=15) and female (n=6) recreationally-trained distance runners (n=21) VO _{2peak} : 44.2 ± 14.6 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) – 41.0 ± 12.9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2)	EG1: Polarized TID (n=12) EG2: CrossFit® training (n=9)	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <RCT Z3: >RCT	Polarized (EG1): Z1: 73.8% Z2: 11.1% Z3: 15.0% CrossFit®(EG2): Z1: 46.1% Z2: 15.4% Z3: 38.5%	12-week (5 d·wk ⁻¹)	EG1: Increased 33 to 48 in week-1 and increased 48 to 65 in week-10 EG2: Increased 12 to 18 in week-1 and increased 24 to 30 in week-10	VO _{2max} and 5,000m time-trial test	VO _{2max} : effect for time (p<0.001) and for the interaction time-group (p=0.05) EG1: +8.45% EG2: +3.42% 5,000m time-trial test: effect for time (p<0.001) EG1: -6.21% EG2: -5.49%
Zimmer et al. [34]	Male (n=23) and female (n=19) recreationally-trained distance runners (n=42) VO _{2peak} : 46.7 ± 7.8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) – 44.4 ± 7.9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2) – 44.6 ± 4.8 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG3)	EG1: HIGH EG2: LOW EG3: Polarized	RPE and HR time-in-zone	Z1: <2mmol·L ⁻¹ lactate Z2: >2mmol·L ⁻¹ <4mmol·L ⁻¹ lactate Z3: >4mmol·L ⁻¹ lactate	HIGH (EG1): Z1: 39.3% Z2: 20.5% Z3: 40.2% LOW (EG2): Z1: 93.7% Z2: 6.3% Z3: - Polarized (EG3): Z1: 69.7% Z2: 13.4% Z3: 16.9%	4-week + 1-week tapering (previously reported in km 4-week of wash-in)	Volume not reported in km	VO _{2peak} , 5,000m time-trial test, running speed at LT, and RE at 9 km·h ⁻¹	VO _{2peak} : EG1: +8% EG2: +4% EG3: +6% (p<0.05) RE: EG2: -4.65% (p=0.04) 5,000m time-trial test: effect for time EG1: -7% EG2: -10% EG3: -8% (p<0.05)

Table S3 Continued

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km·week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Festa et al. [22]	Male (n=31) and female (n=7) recreationally-trained distance runners (n=38) VO ₂ max: 52.9 ± 8.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) – 53.4 ± 8.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2)	EG1: Polarized (n=19) EG2: Threshold (n=19)	HR time-in-zone	Z1: <VT ₁ Z2: >VT ₁ <RCT Z3>RCT	Polarized (EG1): G1: 77% G2: 3% G3: 20% Threshold (EG2): G1: 40% G2: 50% G3: 10%	8-week (3-4 d·wk ⁻¹)	Volume not reported in km	Running speed at VT ₁ , RCT, and VO ₂ max, RE at GET intensity, and 2,000m time-trial test (km·h ⁻¹)	VT ₁ : EG1: +4.0% speed (p<0.001) EG2: +3.2% speed (p=0.04) RCT: EG1: +5.7% speed (p<0.01) EG2: +3.4% speed (p<0.05) VO ₂ max: EG1: +3.2% speed (p<0.01) EG2: +4.0% speed (p=0.03) RE: EG1: +5.3% (p=0.04) EG2: +8.7% (p value not informed) 2,000m time-trial test (km·h ⁻¹): EG1: +3.5 (p<0.05) EG2: +3.0 (p<0.05)

Table S3 Continued.

References	Subjects' characteristics	Experimental groups	Training-intensity classification	Training-intensity zones	Training-intensity distribution	Duration	Training volume (km-week ⁻¹)	Outcomes	Main results
Düking et al. [17]	Male (n=5) and female (n=8) recreationally-trained distance runners (n=13) VO ₂ peak: 45.0 ± 5.1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG1) - 44.8 ± 5.4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG2) - 44.3 ± 4.3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (EG3)	EG1: HIIT EG2: HVLIT EG3: HFT	HR time-in-zone	Z1: <2mmol·L ⁻¹ Z2: 2-4mmol·L ⁻¹ Z3: >4mmol·L ⁻¹	HIIT (EG1): Z1: 41.7% Z2: 32.2% Z3: 26.0% HVLIT (EG2): Z1: 45.1% Z2: 50.1% Z3: 4.6% HFT (EG3): Z1: 39.6% Z2: 58.6% Z3: 1.7%	2-week (baseline) + 3-week + 2-week (wash-out) + 3-week (mesocycle) + 2-week (wash-out) + 3-week (mesocycle) + 2-week (wash-out)	Volume not reported in km	VO ₂ peak at submaximal intensity, running speed, at 2 and 4mmol·L ⁻¹ TTE at 1.94 (female) or 2.22 m·s ⁻¹ (male)	VO ₂ peak: EG1: +2.8% (p=0.045) EG3: +4.5% (p=0.020) HR at submaximal intensity: EG3: -3.0% (p=0.03)

Note: EG: experimental group; GET: gas exchange threshold; HR: heart rate; HIGH: high-intensity low-volume training; HIIT: high-intensity interval training; HFT: high frequency training; HR_{max}: maximal heart rate; HVLIT: high-volume low-intensity training; LT: lactate threshold; OBLA: onset of blood lactate accumulation; RCT: respiratory compensation threshold; RE: running economy; RER: respiratory exchange ratio; RPE: rating of perceived exertion; TTE: time to exhaustion; VT₁: first ventilatory threshold; VE: ventilation; vVO₂max: running speed at maximal oxygen uptake; VT₂: second ventilatory threshold; VO₂max: maximal oxygen uptake; VO₂: oxygen uptake; VO₂peak: peak oxygen uptake; LOW: high-volume low-intensity training; Z: zone; %VO₂max: maximal oxygen uptake percentage.

APÊNDICE B – EVIDÊNCIA CIENTÍFICA PUBLICADA EM PERIÓDICO CLASSIFICADO EM ESTRATO A1

International Journal of Sports Physiology and Performance, (Ahead of Print)
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0615>
© 2021 Human Kinetics, Inc.

Human Kinetics 
BRIEF REPORT

Anaerobic Threshold Prediction Using the OMNI-Walk/Run Scale in Long-Distance Runners: A Preliminary Study

Yuri de Almeida Costa Campos, Jeferson M. Vianna, Miller P. Guimarães, Hiago L.R. Souza, Raúl Domínguez, Jefferson S. Novaes, Luis F.M. Leitão, Sandro F. Silva, and Victor M. Reis

Purpose: To identify the anaerobic threshold through the lactate threshold determined by D_{max} and rating of perceived exertion (RPE) threshold by D_{max} and to evaluate the agreement and correlation between lactate threshold determined by D_{max} and RPE threshold by D_{max} during an incremental test performed on the treadmill in long-distance runners. **Methods:** A total of 16 long-distance runners volunteered to participate in the study. Participants performed 2 treadmill incremental tests for the collection of blood lactate concentrations and RPE separated by a 48-hour interval. The incremental test started at $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, increasing by $1.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ every third minute until exhaustion. During each stage of the incremental test, there were pauses of 30 seconds for the collection of blood lactate concentration and RPE. **Results:** No significant difference was found between methods lactate threshold determined by D_{max} and RPE threshold by D_{max} methods ($P = .664$). In addition, a strong correlation ($r = .91$) and agreement through Bland–Altman plot analysis were found. **Conclusions:** The study demonstrated that it is possible to predict anaerobic threshold from the OMNI-walk/run scale curve through a single incremental test on the treadmill. However, further studies are needed to evaluate the reproducibility and objectivity of the OMNI-walk/run scale for anaerobic threshold determination.

Keywords: maximal lactate steady state, lactate threshold, perceived exertion, treadmill, incremental test

Blood lactate concentrations (BLa) to determine anaerobic threshold (AnT) is a tool commonly used to verify fitness changes¹ and for moderate-intensity training prescription in long-distance runners.^{1,2} However, its use requires sophisticated equipment³ that increases complexity⁴ and makes it difficult to apply during training and/or competition.⁵

The popularization of the perceived exertion scales has led some studies to validate the use of specific scales such as the OMNI-walk/run (0–10) from the classic OMNI ratings of perceived exertion (RPE; 6–20) scale proposed by Borg.⁶ These specific scales offer the advantage of presenting visual descriptors together with the numerical that facilitate the understanding and the indication of the perceived effort by the participant when compared with the classic scale.^{6,7} Thus, the specific literature has sought to study alternative methods that are more economical and with greater practical applicability for exercise prescription and monitoring.⁴ In this perspective, some studies have found strong correlations between AnT determined by BLA and the threshold identified by RPE,^{3,8,9} mainly when the CR-10 and CR-100 scales

are used, which present a curvilinear behavior similar to the physiological adjustments of BLA during an incremental test.^{8,9} On the other hand, there are no studies that evaluated RPE from the OMNI-walk/run scale⁶ and BLA. Based on the studies by Fabre et al⁸ and Ferreira et al,⁹ it would be possible to suggest that the lactate threshold (LT) and RPE threshold (RPET) determined by D_{max} , have important associations, which would imply the use of RPET through D_{max} as a noninvasive tool, low-cost, and low-complexity to identify AnT in long-distance runners.

Thus, the present study aimed to identify AnT through the LT determined by D_{max} (LTD_{max}) and RPET by D_{max} ($RPETD_{max}$) and, to evaluate the agreement and correlation between LTD_{max} and $RPETD_{max}$ during an incremental test performed on the treadmill in long-distance runners. The authors hypothesized that LTD_{max} and $RPETD_{max}$ would correlate and agree.

Methods

Participants

A total of 16 male long-distance runners (mean [SD]; age = 27.28 [2.54] y; body fat percentage = 9.98% [3.52%]; height = 1.78 [0.05] m; body mass = 74.22 [5.58] kg; best time in 5000 m = 21 min 28.7 s [1 min 24 s]; VO_{2max} = 50.91 [5.42] $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; training experience = 3.26 [0.89] y) were recruited from local athletic clubs. Before the study outset, sample size was estimated using the G*Power package (Düsseldorf, Germany),¹⁰ considering an effect size (f) = 0.5; power ($1-\beta$) = 0.8; α = .05, which resulted in a sample of 27 participants. As it was not possible to reach this number of participants with similar training levels, the authors decided to continue with this preliminary study. All participants signed a consent form approved by the ethics and human research committee of the University of Lavras (CAAE: 53675416.3.0000.5148) in accordance with the Declaration of Helsinki.

Campos, Vianna, Souza, Novaes, and Leitão are with the Postgraduate Program of the Faculty of Physical Education and Sports of the University of Juiz de Fora, Brazil. Campos, Guimarães, and Silva are with the Study Group and Research in Neuromuscular Responses, University of Lavras, Lavras, Brazil. Guimarães is also with Human Movement and Rehabilitation Sciences, University of São Paulo, Santos, Brazil. Domínguez is with the Faculty of Health Sciences, Isabel I University, Burgos, Spain. Novaes is also with the Postgraduate Program of Physical Education of the University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. Leitão is also with the Superior School of Education of Polytechnic Inst of Setúbal, Setúbal, Portugal. Reis is with the Center for Research in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development, University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugal. Campos is also with the Dept of Physical Education, University of Lavras, Lavras, Brazil. Campos (reiclauly@hotmail.com) is corresponding author.

Procedures

The participants were evaluated in 4 sessions separated by a 48-hour interval. In the first session, participants were evaluated for body mass, height, and fat mass, and they received instructions on all the procedures that would be adopted during the experiment. In the second session, the participants received standardized instructions and performed a familiarization with the OMNI-walk/run scale⁶ on the treadmill. The scale was anchored using a combination exercise and memory which had as main objective to make the participant cognitively establish the intensity of effort in consonance with the visual and numerical descriptors of the scale. In the third and fourth sessions, participants performed the incremental test on the treadmill for BLA or RPE collection during each stage of the exercise, with the sequence of sessions being randomized among the participants. The incremental test started at 8 km·h⁻¹, increasing by 1.2 km·h⁻¹ every third minute until exhaustion, with a constant slope of 1%. Thirty seconds after the end of each stage, 25 µL of capillary blood was collected and analyzed through a portable analyzer (Accusport, Boehringer Mannheim, Germany). During the test, the OMNI-walk/run scale was always presented, and the participants were questioned about their perception about the effort, 30 seconds after the end of each incremental test stage. The determination of the LT and RPETD_{max} method followed the recommendations proposed in the study by Fabre et al⁸ performed with MATLAB software (version 9.0; MathWorks, Natick, MA) (Figure 1).

Statistical Analysis

To verify the normality of variances, the Shapiro–Wilk test was adopted. Once the assumptions of normality and homogeneity had been established, the *t* test of dependent samples was used to compare the running speeds (in kilometer per hour) where LTD_{max} and RPETD_{max} were determined. Effect size was calculated according to Cohen (*d*). Effect size was assessed using the following criteria: 0 to 0.2, trivial; 0.2 to 0.6, small; 0.6 to 1.2, moderate; 1.2 to 2.0, large; and >2.0 very large. To verify the relationship between LTD_{max} and RPETD_{max}, the Pearson correlation was applied. The 95% limits of agreement and Bland–Altman plot were calculated to

evaluate agreement between LTD_{max} and RPETD_{max} in the incremental test. To verify the relationship between difference and mean of the methods, a linear regression was applied. A simple *t* test was used to compare the mean values of bias value with 0 to verify its proportionality. As statistical evidence, the authors adopted the significance level (α) of 5% using for analysis the SPSS statistical software (version 25.0; IBM Corp, Armonk, NY).

Results

The average time to exhaustion during incremental tests was 21.8 (3.7) minute, reaching an average maximal speed of 17.22 (1.62) km·h⁻¹. The average maximal value of BLA was 9.41 (1.94) mmol·L⁻¹. The average maximal value of RPE was 9.65 (0.49) UA. The average value corresponding to BLA at the AnT was 4.23 (1.15) mmol·L⁻¹. The average value corresponding to RPE at the AnT was 5.75 (1.42) UA.

The authors' results did not demonstrate significant differences in the running speed (in kilometer per hour) between LTD_{max} and RPETD_{max} (effect size = 0.05 [trivial]). A strong and significant correlation was found between the evaluated methods (Table 1).

Bland–Altman plot analysis demonstrated agreement between LTD_{max} and RPETD_{max}. However, there is a mean difference of 0.05 km·h⁻¹ between the methods with a bias (–0.94 to 1.05 km·h⁻¹), which is true for 95% of the participants (Figure 2). Linear regression analysis between difference and mean of the methods evaluated showed a nonzero slope (95% confidence interval, –0.13 to 0.37). The mean value of differences between the methods were not significantly different from 0 (*P* = .664), indicating a proportional bias.

Discussion

The main findings of the present study indicated no significant difference in running speed where LTD_{max} and RPETD_{max} were found. In addition, both methods showed a strong correlation and agreement.

Over the years, several studies have sought to validate and/or evaluate the perceived exertion scales from other parameters used to determine the AnT, as the BLA^{3,8,9} and ventilatory parameters.⁵ Irving et al³ evaluated sedentary to lightly active individuals and found a strong correlation (*r* = .82) and agreement between the RPE measured through the OMNI-walk/run scale and the exercise intensities associated with BLA during the maximal incremental test performed on the treadmill. In a study similar to the authors, Fabre et al⁸ evaluated physically active individuals and observed a strong correlation (*r* = .97) and agreement in the oxygen uptake response between LTD_{max} and RPETD_{max} in a maximal incremental test performed on the treadmill using the Borg scale (CR-100) of perceived exertion. In this line, the authors' results also showed a strong correlation (*r* = .91) (Table 1) and agreement (Figure 2) between LTD_{max} and RPETD_{max}. However, Bland–Altman plot analysis demonstrated that despite the average difference of 0.05 km·h⁻¹ between the methods evaluated, there is a bias of ± 1 km·h⁻¹ for some of the participants. These findings highlight that RPETD_{max} can be an attractive method to predict AnT, although it requires care regarding the prescription for some subjects. Nevertheless, the authors' results were consistent with those presented by other studies that demonstrated correlation and agreement between LT and RPE during a maximal incremental test performed on the treadmill^{3,8} and cycle ergometer.⁹ The similarities in the results of these studies may indicate that the perceived

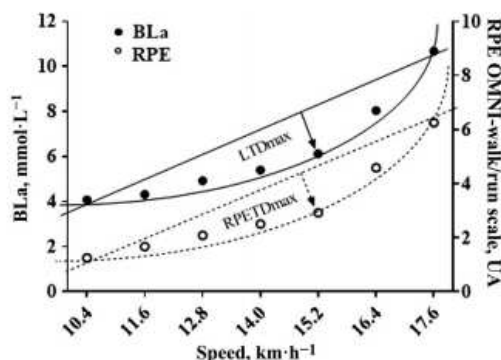


Figure 1 — Example of the determination of lactate threshold and rating of perceived exertion threshold by D_{max} method. BLA indicates blood lactate concentration; LTD_{max}, lactate threshold by D_{max} method; RPE, rating of perceived exertion threshold; RPETD_{max}, rating of perceived exertion threshold by D_{max} method.

Table 1 Relationship of Running Speed (in Kilometers per Hour) Between LTD_{max} and RPETD_{max}

Running speed, km·h ⁻¹ , mean (SD)		Significance	t	Correlation	Correlation significance
LTD _{max}	RPETD _{max}				
13.53 (0.96)	13.47 (1.05)	P = .664	.442	r = .91*	P = .001

Abbreviations: LTD_{max}, lactate threshold by D_{max} method; RPETD_{max}, rating of perceived exertion threshold by D_{max} method.

*P < .05 for correlation between the variables.

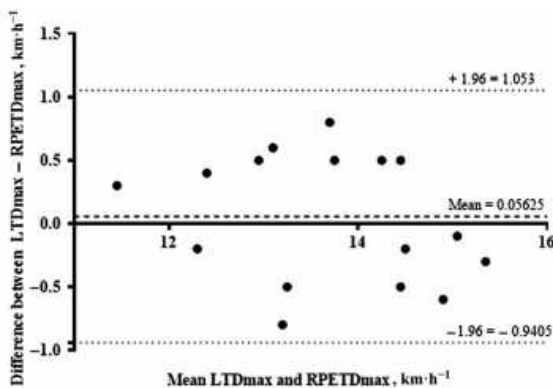


Figure 2 — Analysis of agreement between LTD_{max} and RPETD_{max}. LTD_{max} indicates lactate threshold by D_{max} method; RPETD_{max}, rating of perceived exertion threshold by D_{max} method. Dotted line shows the mean of differences between the methods (bias). Upper and lower dashed lines show the bias ± 1.96.

exertion OMNI scales do not seem to be influenced by exercise modality.^{6,7} Moreover, experiments that evaluated the perceived exertion Borg scale demonstrated that it does not seem to be affected by the training state,^{3,4,8} allowing these scales to be applied in diverse populations including long-distance runners, as in this study.

In the specific literature, some mechanisms have been proposed to explain the relevance of RPE as an instrument for monitoring and prescribing exercise intensity. In this sense, it seems that increases in RPE scores are associated with physiological changes such as increases in heart rate, uptake oxygen, and metabolic acidosis.¹¹ Based on this model, it is believed that the sensation of effort is strongly modulated by metabolic and mechanical peripheral alterations that occur during muscle contraction, which would be perceived by the afferent groups III and IV, increasing its discharge toward the central nervous system¹² and stimulating the sensory areas of the brain. Thus, the effort perception could be influenced via sensory feedback¹³ and therefore develop the set of psychophysiological sensations during exercise. One of the metabolic alterations that could act as one of the signs for the central nervous system and, thus, influence the response of RPE are the BLa.¹⁴ In this sense, it is justified to compare and correlate the RPE scores and BLa values to verify the sensitivity of this tool for AnT determination during a maximal incremental test. On the other hand, although the importance of the role played by afferent groups III and IV in providing feedback to the central nervous system is recognized, this does not seem to be the only agent involved in modulating the perception of effort. De Morree

et al¹⁵ observed in their study that the increase of the RPE with the increase in the workloads, and consequently, fatigue was influenced by information sent directly from the motor regions to the sensory regions of the brain, suggesting that RPE may be related to corollary discharge from central motor commands rather than the association between peripheral alterations and sensory feedback. However, as the authors have only measured BLa during the incremental test, it becomes difficult to determine which mechanism was responsible for the RPE response in the authors' study.

Therefore, although the present study has shown that the OMNI-walk/run scale appears to be low-cost and easy-to-apply method determining AnT and prescribing endurance training, its use has some limitations such as fatigue, coach's prior knowledge and athlete's familiarity with the scale, as well as the subjectivity of the method that may allow AnT to be easily manipulated by the athlete during an incremental test. As this is a preliminary study with a smaller sample, additional studies should be considered to evaluate the reproducibility and objectivity of use of the OMNI-walk/run to determine AnT in long-distance runners, mainly with a larger sample and with different training levels.

Practical Applications

For the use of the OMNI-walk/run scale, the authors recommend that coaches strictly follow familiarization procedures to avoid misinterpretation by athletes that make it impossible to use the scale for AnT determination.

Conclusions

The present study demonstrated that it is possible to predict AnT from the OMNI-walk/run scale curve through a single incremental test in long-distance runners.

Acknowledgments

The authors thank the participants for their contribution to the study and the University of Juiz de Fora for promoting scholarships.

References

- Valenzuela PL, Morales JS, Foster C, Lucia A, de la Villa P. Is the functional threshold power a valid surrogate of the lactate threshold? *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(10):1293–1298. doi:10.1123/ijspp.2018-0008
- Manzi V, Bovenzi A, Castagna C, Salimei PS, Volterrani M, Iellamo F. Training-load distribution in endurance runners: objective versus subjective assessment. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(8):1023–1028. PubMed ID: 25803237 doi:10.1123/ijspp.2014-0557
- Irving BA, Rutkowski J, Brock DW, et al. Comparison of Borg and OMNI-RPE as markers of the blood lactate response to exercise. *Med*

- Sci Sports Exerc.* 2006;38(7):1348–1352. PubMed ID: 16826034 doi:10.1249/01.mss.0000227322.61964.d2
4. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(1):147–155. PubMed ID: 22615009 doi:10.1007/s00421-012-2421-x
 5. Monnier-Benoit P, Gros Lambert A, Rouillon JD. Determination of the ventilatory threshold with affective valence and perceived exertion in trained cyclists: a preliminary study. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(6):1752–1757. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b74dc1
 6. Utter AC, Robertson RJ, Green JM, Suminski RR, McAnulty SR, Nieman DC. Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(10):1776–1780. PubMed ID: 15595300 doi:10.1249/01.MSS.0000142310.97274.94
 7. Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, et al. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(2):333–341. PubMed ID: 12569225 doi:10.1249/01.MSS.0000048831.15016.2A
 8. Fabre N, Mourot L, Zerbin L, Pellegrini B, Bortolan L, Schena F. A novel approach for lactate threshold assessment based on rating of perceived exertion. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(3):263–270. PubMed ID: 22954509 doi:10.1123/ijspp.8.3.263
 9. Ferreira GA, Osiecki R, Lima-Silva AE, de Angelis-Pereira MC, De-Oliveira FR. Effect of a reduced-CHO diet on the rate of perceived exertion curve during an incremental test. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24(5):532–542. PubMed ID: 24936871 doi:10.1123/ijsnem.2013-0248
 10. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods.* 2009;41(4):1149–1160. PubMed ID: 19897823 doi:10.3758/BRM.41.4.1149
 11. Eston R. Use of ratings of perceived exertion in sports. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(2):175–182. PubMed ID: 22634967 doi:10.1123/ijspp.7.2.175
 12. Pageaux B, Gaveau J. Studies using pharmacological blockade of muscle afferents provide new insights into the neurophysiology of perceived exertion. *J Physiol.* 2016;594(18):5049–5051. PubMed ID: 27629079 doi:10.1113/JP272585
 13. Peñaflorillo L, Mackay K, Abbiss CR. Rating of perceived exertion during concentric and eccentric cycling: are we measuring effort or exertion? *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(4):517–523. PubMed ID: 29035598 doi:10.1123/ijspp.2017-0171
 14. Hampson DB, Gibson ASC, Lambert MI, Noakes TD. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med.* 2001;31(13):935–952. PubMed ID: 11708402 doi:10.2165/00007256-200131130-00004
 15. De Morree HM, Klein C, Marcora SM. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology.* 2012;49(9):1242–1253.

ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISAS COM SERES
HUMANOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Limiar de lactato, limiar eletromiográfico no exercício resistido e esteira e teste em pista em corredores

Pesquisador: Sandro Fernandes da Silva

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 53675416.3.0000.5148

Instituição Proponente: Universidade Federal de Lavras

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.522.858

Apresentação do Projeto:

OK

Objetivo da Pesquisa:

OK

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

OK

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

OK

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

OK

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências éticas foram atendidas de acordo com a Resolução 466/2012 do CNS.

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao Final do experimento o pesquisador deverá enviar relatório final, indicando ocorrências e efeitos adversos quando houver.

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufla.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



Continuação do Parecer: 1.522.858

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_670927.pdf	11/04/2016 11:02:33		Aceito
Outros	COMENTARIOSETICOSFINAL.doc	11/04/2016 11:02:08	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Outros	RESPOSTAS.pdf	11/04/2016 11:01:04	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEposcorrecaoTermodeassentimento.doc	11/04/2016 10:14:17	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOCOMITEDEETICAFINAL.pdf	11/04/2016 10:10:23	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Outros	cartaliberacao.pdf	01/03/2016 13:44:56	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostosandro.pdf	01/03/2016 13:42:21	Sandro Fernandes da Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

LAVRAS, 29 de Abril de 2016

Assinado por:
Giancarla Aparecida Botelho Santos
(Coordenador)

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufia.br

ANEXO 2 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISAS COM SERES HUMANOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MONITORAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA CARGA INTERNA E EXTERNA DE TREINAMENTO EM CORREDORES FUNDISTAS: ANÁLISE E RELAÇÃO DOS PARÂMETROS METABÓLICO, HORMONAL E DESEMPENHO FÍSICO

Pesquisador: Sandro Fernandes da Silva

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 03910018.1.0000.5148

Instituição Proponente: Universidade Federal de Lavras

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.090.618

Apresentação do Projeto:

O projeto visa avaliar o efeito de uma temporada de corrida em marcadores fisiológicos e metabólicos em corredores fundistas.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo do projeto é analisar o efeito da carga interna e externa de treinamento durante a temporada esportiva nas respostas metabólica, hormonal, estresse- recuperação e desempenho físico em corredores fundistas.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Sobre os riscos, os pesquisadores ressaltaram que os testes laboratoriais e específicos de desempenho apesar de exigirem desempenho máximo, são similares as atividades físicas realizadas durante o treinamento, e por esse motivo, embora causem algum desconforto muscular não configuram risco algum à saúde.

Sobre os benefícios, os pesquisadores citaram que a manipulação adequada das cargas de treinamento permitirá que ajustes mais acurados sejam realizadas ao longo da temporada esportiva, promovendo uma recuperação adequada, reduzindo o risco de lesões e, dessa forma, aumentando o rendimento esportivo nas principais competições da temporada esportiva.

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufla.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



Continuação do Parecer: 3.090.818

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa com importância científica e exequível.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos obrigatórios foram apresentados.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto de pesquisa sem pendência e/ou inadequação.

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao Final do experimento o pesquisador deverá enviar relatório final, indicando ocorrências e efeitos adversos quando houver.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1269292.pdf	03/12/2018 15:04:57		Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostoassinada.pdf	03/12/2018 15:04:36	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Outros	RESTQSport.docx	03/12/2018 09:43:53	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Outros	Comentarioseticomodificado.doc	03/12/2018 09:43:08	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Outros	cartaliberacaoceop.doc	03/12/2018 09:42:36	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEmodificado.doc	03/12/2018 09:42:11	Sandro Fernandes da Silva	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.doc	03/12/2018 09:41:59	Sandro Fernandes da Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufla.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



Continuação do Parecer: 3.090.618

LAVRAS, 18 de Dezembro de 2018

Assinado por:
Giancarla Aparecida Botelho Santos
(Coordenador(a))

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufla.br