

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAPHAEL BONATTO

**COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DE FATORES
PSICOFISIOLÓGICOS DURANTE A DETERMINAÇÃO DA ACUIDADE
PERCEPTUAL DE CORREDORES**

**CURITIBA
2025**

RAPHAEL BONATTO

**COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DE FATORES
PSICOFISIOLÓGICOS DURANTE A DETERMINAÇÃO DA ACUIDADE
PERCEPTUAL DE CORREDORES**

**OXYGEN CONSUMPTION KINETICS AND PSYCHOPHYSIOLOGICAL FACTORS
DURING THE DETERMINATION OF RUNNERS' PERCEPTUAL ACUITY**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Educação Física
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)

Orientadora: Maressa Priscila Krause Mocellin

CURITIBA

2025



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba**



RAPHAEL BONATTO

COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DE FATORES PSICOFISIOLÓGICOS DURANTE A DETERMINAÇÃO DA ACUIDADE PERCEPTUAL DE CORREDORES

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Educação Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciências Do Movimento Humano.

Data de aprovação: 27 de Novembro de 2025

Dra. Maressa Priscila Krause Mocellin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Gilberto Gaertner, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Dr. Julio Cesar Bassan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 27/11/2025.

RESUMO

BONATTO, RAPHAEL. **Comportamento do consumo de oxigênio e de fatores psicofisiológicos durante a determinação da acuidade perceptual de corredores.**

Dissertação de mestrado do programa de Pós Graduação em Educação Física.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2025.

A precisão na autorregulação do esforço é determinante para o desempenho em provas de resistência, nas quais o consumo de oxigênio (VO_2) representa um dos principais indicadores de eficiência metabólica. Em atletas de alto rendimento, as flutuações do VO_2 devem ser mínimas para garantir estabilidade e economia energética. A variação desse consumo pode ser utilizada de forma indireta para investigar a integração entre os processos sensoriais e perceptivos humanos. Esta avaliação da acuidade perceptiva ocorreu por meio da abordagem da menor diferença detectável (VO_2 -JND). **Objetivo:** Analisar a cinética do VO_2 durante a determinação da JND, buscando identificar as alterações fisiológicas e psicofísicas que permitem aos corredores competitivos perceber essas variações sutis. **Métodos:** Participaram do estudo quinze corredores do sexo masculino, bem treinados e com experiência competitiva. Cada participante realizou três testes em esteira: um teste incremental para determinar o $VO_{2máx}$ e dois protocolos da JND, conduzidos em intensidades correspondentes a 70% e 80% $VO_{2máx}$. **Resultados:** Observou-se aumento rápido no VO_2 no primeiro minuto de ambas as sessões de JND, seguido de estabilização no segundo minuto. As diferenças intra e interindividuais foram significativas ($p < 0,001$), com distinções marcantes entre os indivíduos nos estágios finais (247–284s; $p < 0,05$). O tempo para detectar alterações mínimas da intensidade foi menor nas séries JND-B em relação às JND-A em ambos os testes ($p < 0,05$). A percepção subjetiva do esforço aumentou proporcionalmente à intensidade do exercício, apresentando diferenças significativas entre séries e testes ($p < 0,05$). As velocidades finais se mantiveram próximas ao padrão estabelecido apenas ao término das séries JND-B ($p > 0,1$). **Conclusão:** Os resultados demonstram que corredores competitivos são capazes de identificar pequenas variações nos parâmetros fisiológicos e perceptivos, realizando micro ajustes essenciais para a manutenção do desempenho e da autorregulação. A abordagem VO_2 -JND revela-se uma ferramenta promissora para

compreender a integração sensório-perceptiva durante o exercício de resistência e pode favorecer a autorregulação desses atletas.

Palavras-Chave: consumo de oxigênio; mínima diferença detectável; percepção subjetiva do esforço; interocepção; corredores de resistência.

ABSTRACT

BONATTO, RAPHAEL. **Oxygen consumption kinetics and psychophysiological factors during the determination of runners' perceptual acuity**. Master's Degree Thesis of the postgraduate program in Physical Education. Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Curitiba, 2025.

Precise self-regulation of effort is essential for success in endurance events, where oxygen consumption (VO_2) represents a key indicator of metabolic efficiency. In high-performance athletes, minimal VO_2 fluctuations are required to ensure stability and energy economy. Variations in oxygen uptake can be indirectly used to investigate the integration of human sensory-perceptual processes. This measurement of the perceptual accuracy was made by the just noticeable difference (VO_2 -JND) approach. **Objective:** To analyze VO_2 kinetics during the determination of JND in order to identify the physiological and psychophysical changes that allow competitive runners to perceive subtle differences in exercise intensity. **Methods:** Fifteen well-trained male competitive runners participated in the study. Each runner performed three treadmill tests: one incremental test to determine VO_{2max} and two JND protocols at 70% and 80% of VO_{2max} . **Results:** VO_2 increased rapidly during the first minute of both JND sessions, stabilizing in the second minute. Significant intra- and inter-individual differences were found ($p < 0.001$), with marked variability among runners in the final stages (247–284s; $p < 0.05$). Time perception was shorter in JND-B sessions compared to JND-A sessions at both intensities ($p < 0.05$). RPE increased with exercise intensity, showing significant differences between sessions and tests ($p < 0.05$). Final running speeds were closely aligned with the standard stimulus at the end of JND-B sessions ($p > 0.1$). **Conclusion:** These findings indicate that competitive runners can detect subtle physiological and perceptual variations, performing precise micro-adjustments that are crucial for effective self-regulation and optimal endurance performance. The VO_2 -JND approach provides valuable insights into the integration of sensory and perceptual processes during exercise and may have advantages in the athletes' self-regulation process.

Keywords: oxygen consumption; just noticeable difference; rating of perceived exertion (RPE); interoception; endurance runners.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	10
1.2 OBJETIVO GERAL	10
1.2.1 Objetivos Específicos	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Corrida de Resistência.....	12
2.2 Determinantes da Performance para Corredores de Resistência	14
2.2.1 Consumo de Oxigênio ($VO_{2máx.}$)	15
2.2.2 Autorregulação	16
2.3 Mecanismo Sensório-Perceptual associado ao $VO_{2máx.}$.....	18
2.4 Percepção Subjetiva do Esforço.....	19
3 MÉTODO DE PESQUISA	23
3.1 Tipo do Estudo	23
3.2 Participantes	23
3.3 Banco de Dados	24
3.4 Instrumentos e Procedimentos	24
3.5 Análise dos Dados	27
4 RESULTADOS.....	29
5 DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Corredores de resistência normalmente determinam uma faixa de intensidade de exercício que proporciona um melhor desempenho durante os treinamentos e provas, sendo dependentes de um contínuo monitoramento de parâmetros psicofisiológicos. O consumo de oxigênio (VO_2), as respostas sensoriais dos receptores cardíacos, térmicos, químicos e mecânicos, refletem as demandas metabólicas, e auxiliam na regulação eficaz da intensidade do exercício. A percepção desses fatores, contribui para a manutenção de um ritmo de corrida ideal (Billat; Palacin; Correa et al., 2020; Doherty; Keogh; Smyth et al., 2020).

O consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) é considerado um indicador primordial do desempenho em esportes ou modalidades contínuas que dependem da capacidade física de resistência aeróbica e anaeróbica. Este é definido como a “máxima capacidade do organismo de captar, transportar e utilizar oxigênio durante o exercício de intensidade crescente” (Wilmore; Costill, 2001). Devido à sua integração com funções respiratórias, cardiovasculares, endócrinas e metabólicas, o VO_2 torna-se altamente sensível a fatores ambientais, como temperatura, umidade e pressão barométrica. Suas variações influenciam como o sistema nervoso central (SNC) responderá para manter a homeostase durante o exercício (Billat; Poinsard; Palacin et al., 2022).

Concomitantemente ao aumento da demanda por oxigênio, sensores químicos são ativados, elevando a produção de lactato e diminuindo o pH sanguíneo. Por sua vez, termorreceptores respondem às mudanças na temperatura corporal, decorrentes da elevação do metabolismo muscular e da frequência cardíaca. Sinais dos mecanorreceptores musculares e articulares, impulsionados por alterações no VO_2 e na demanda fisiológica, enviam informações ao sistema nervoso central (SNC) sobre o trabalho muscular (Furrer; Hawley; Handschin, 2023). Nesse sentido, todas essas informações, aliadas à experiência anterior, necessitam ser avaliadas para coordenar uma resposta apropriada.

A ativação desses sinalizadores em resposta ao estímulo imposto pelo exercício, pode influenciar na estratégia utilizada pelos atletas, sendo determinantes para o resultado final. Este processo de regulação é dependente de um complexo conjunto de sinais (vias aferentes e eferentes), interpretações, e tomada de decisões.

Por sua vez, a resposta perceptual obtida por meio da percepção subjetiva do esforço (PSE) capta essa conexão entre o esforço percebido e a demanda fisiológica, desempenhando um papel crucial no processo de autorregulação (Robertson, 2004; Billat; Poinard; Palacin et al., 2022). Portanto, acredita-se que é necessário um aprimoramento de habilidades psicofisiológicas para que o gesto esportivo seja realizado em sua máxima eficiência.

A integração desses processos sensório-perceptivos pode ser avaliada indiretamente por meio de mudanças no VO_2 , utilizando a abordagem da mínima diferença detectável do VO_2 (VO_2 -JND). Esse método foi validado como uma medida de acuidade perceptual em corredores (KRAUSE et al., 2025) e sua aplicabilidade já foi reconhecida em atletas corredores do sexo masculino bem treinados (Krause et al., 2024), como também em adultos ativos, homens e mulheres, em cicloergômetro (Haile et al., 2012). A acuidade perceptual, definida pela abordagem VO_2 -JND, reflete a habilidade de detectar mudanças sutis na demanda psicofisiológica causada por um estímulo físico (Krause et al., 2025; Haile et al., 2012).

1.1 PROBLEMA

Qual o comportamento do consumo de oxigênio e respectivos fatores psicofisiológicos durante a avaliação da acuidade perceptual em corredores de resistência?

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento do consumo de oxigênio e de fatores psicofisiológicos durante a determinação da acuidade perceptual de corredores de resistência.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Comparar o comportamento do VO_2 durante a determinação da acuidade perceptual pela abordagem do VO_2 -JND entre duas intensidades do estímulo padrão 70% e 80% do $VO_{2máx}$;

- Quantificar a magnitude de alteração na demanda fisiológica necessária para que corredores percebam alterações na intensidade do exercício;
- Comparar o tempo de reação e as respostas psicofisiológicas (percepção subjetiva do esforço – PSE, velocidade e frequência cardíaca) entre duas intensidades padrão 70% e 80% do $VO_{2máx}$;
- Comparar o tempo de reação e as respostas psicofisiológicas (percepção subjetiva do esforço – PSE, velocidade e frequência cardíaca) entre séries acima e abaixo do estímulo padrão nas duas intensidades 70% e 80% do $VO_{2máx}$.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Corrida de Resistência

A corrida de resistência é uma modalidade esportiva amplamente praticada e estudada por envolver aspectos fisiológicos, biomecânicos e psicológicos complexos. Seu principal desafio está na capacidade do atleta de manter um esforço contínuo durante longos períodos, exigindo elevado condicionamento aeróbico e controle emocional (Dietrich; Sparling, 2004).

Conforme demonstrado por Billat; Palacin; Correa et al. (2020), a estratégia de corrida afeta o desempenho dos corredores de resistência. Um desvio significativo da frequência cardíaca (FC) é uma provável causa da regulação negativa da velocidade na intensidade do exercício, resultando numa perda de performance durante a competição. Conforme aumenta a intensidade do exercício, tanto a FC, quanto a fração utilizada do $VO_{2máx}$ também aumentam, potencializando o atleta a atingir o seu limite ou "bater no muro", termo conhecido como *"hitting the wall"*.

Este fenômeno é caracterizado por um declínio notável na velocidade, influenciada principalmente pela estratégia de corrida, especificamente pela manutenção de um ritmo muito rápido durante a meia maratona inicial. Os indicadores fisiológicos mais prevalentes associados são fadiga geral e fadiga localizada nas pernas (Palacin et al., 2023). Desta forma, quanto maior o número de participantes sem experiência prévia mínima na maratona, maiores são as chances de "bater no muro".

Dependendo do nível de treinamento e características individuais, estima-se que maratonistas utilizem uma porção entre 70% e 90% do seu $VO_{2máx}$, zona correspondente àquela na qual o VO_2 não está mais em um estado estável e mostra um desvio até o $VO_{2máx}$ (Sjödín e Svedenhag, 1985 *apud* Billat 2020). Além disso, completar uma maratona com sucesso requer um ritmo próprio de acordo com a PSE, em vez de tentar manter uma velocidade ou frequência cardíaca constantes. Alterações no estado homeostático, refletidas pela PSE momentânea, permitem a alteração da estratégia de ritmo (produção de potência) de forma antecipatória e responsiva, com base nas expectativas pré-exercício e no feedback periférico de diferentes sensores fisiológicos. Estudos recentes examinaram a resposta fisiológica

contínua e a PSE durante maratonas, revelando uma diminuição semelhante na proporção entre a PSE e velocidade, frequência cardíaca e VO_2 para todos os corredores recreativos (Billat et al., 2022).

Adaptações fisiológicas ao treinamento, como o aumento do volume sistólico, capilarização muscular e capacidade oxidativa, são essenciais para melhorar o desempenho em provas de resistência. Adaptações biomecânicas buscam a eficiência no gesto motor, com menor gasto energético possível. A técnica biomecânicamente correta minimiza o desgaste físico e reduz o risco de lesões. Van Hooren et al. (2023), demonstram através de uma revisão sistemática e meta-análise de estudos observacionais, a relação entre a biomecânica da corrida e a economia da corrida, concluindo que a biomecânica da corrida pode explicar de 4% a 12% da variação entre indivíduos na economia do movimento quando considerada isoladamente, com essa magnitude potencialmente aumentando ao combinar diferentes variáveis.

Respostas sensoriais aos estímulos podem influenciar na estratégia utilizada pelos atletas, mesmo aqueles mais experientes, sendo determinantes para o resultado final. Este processo de regulação é dependente de um complexo conjunto de sinais (vias aferentes e eferentes), interpretações, e tomada de decisões, ou seja, é necessário um aprimoramento da habilidade psicofisiológica para que o gesto esportivo seja realizado em sua máxima eficiência. Assim, a preparação psicológica é tão importante quanto o treinamento físico, especialmente em esportes de longa duração, nos quais o controle emocional pode definir o sucesso (Weinberg; Gould, 2017).

O treinamento da corrida de resistência deve seguir princípios da periodização, alternando estímulos de volume e intensidade. Bompa e Buzzichelli (2019), argumentam que o planejamento adequado deve respeitar as fases de adaptação, sobrecarga e recuperação. A periodização do treinamento permite controle da carga e maximização do desempenho com menor risco de lesões e *overtraining*.

A corrida de resistência é uma modalidade rica em complexidade, que exige equilíbrio entre capacidades físicas, técnicas e mentais. A compreensão dos fatores fisiológicos, biomecânicos e psicológicos é essencial tanto para o treinamento quanto para a prática recreativa ou competitiva. A abordagem multidisciplinar, aliada a

estratégias bem planejadas de treinamento, proporciona maior eficiência e um melhor desempenho esportivo.

2.2 Determinantes da Performance para Corredores de Resistência

O consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) é um dos principais preditores de desempenho, pois durante a corrida prolongada, a energia é fornecida principalmente por meio da oxidação de carboidratos e gorduras, processo que depende da eficiência do sistema cardiorrespiratório e da densidade mitocondrial. Além disso, fatores como o limiar de lactato e a economia de corrida influenciam diretamente a performance do atleta (McArdle; Katch; Katch, 2016).

Devido a sua integração com funções respiratórias, cardiovasculares, endócrinas e metabólicas, o VO_2 torna-se altamente sensível a fatores ambientais, como temperatura, umidade e pressão barométrica e suas variações influenciam como o sistema nervoso central (SNC) responde para manter a homeostase durante o exercício (Billat; Poinard; Palacin *et al.*, 2022).

Com o aumento da demanda por oxigênio, sensores químicos são ativados, elevando a produção de lactato e diminuindo o pH sanguíneo. Os termorreceptores respondem às mudanças na temperatura corporal, decorrentes da elevação do metabolismo muscular e da frequência cardíaca. Sinais dos mecanorreceptores musculares e articulares, impulsionados por alterações no VO_2 e na demanda fisiológica, enviam informações ao sistema nervoso central (SNC) sobre o trabalho muscular (Furrer; Hawley; Handschin, 2023). Todas essas informações, aliadas à experiência anterior, são avaliadas para coordenar uma resposta apropriada.

A integração desses processos sensório-perceptivos pode ser avaliada indiretamente por meio de mudanças no VO_2 , usando a abordagem da mínima diferença detectável do VO_2 (VO_2 -JND). Esse método foi validado como uma medida de acuidade perceptual (Krause *et al.*, 2024). A acuidade perceptual definida pela abordagem VO_2 -JND, reflete a habilidade de detectar mudanças sutis na demanda psicofisiológica causada por um estímulo físico (Krause *et al.*, 2024). Por sua vez, a resposta perceptual obtida por meio da percepção subjetiva do esforço (PSE) capta essa conexão entre o esforço percebido e a demanda fisiológica, desempenhando um

papel crucial no processo de autorregulação (Robertson, 2004; Billat; Poinard; Palacin et al., 2022).

O conceito da mínima diferença detectável (JND), deriva dos primeiros trabalhos na área da psicofísica clássica realizados em meados do século XIX. Weber, fisiologista alemão, se destaca nesta área, pois iniciou investigações experimentais concentrando-se na estimulação tátil e na determinação de limiares sensoriais (Stern; Johnson, 2010). Nobel e Robertson (1996) *apud* Haile et al. (2012) e Wozniak (1999) *apud* Haile et al. (2012) analisaram que as respostas à estímulos detectáveis contínuos começam no limiar de estímulo percebido mais baixo e terminam no limiar terminal, ou seja, o estímulo percebido mais alto.

Esta medida fisicamente mensurável, da diferença entre um estímulo sensorial e um estímulo padrão, pode ser percebida como superior (JND-A) ou inferior (JND-B) ao estímulo padrão, assim como a magnitude total de ambas (JND-T). Ao determinar a magnitude dessas diferenças, avalia-se a capacidade subjetiva de acuidade sensório-perceptual de um indivíduo. Em outras palavras, quanto maior for a magnitude dessas diferenças, menor será a precisão sensório-perceptual do indivíduo (Haile et al., 2012). Portanto, esta abordagem demonstra um alto potencial de aprimoramento da habilidade de autorregulação durante a prática de exercícios físicos.

2.2.1 Consumo de Oxigênio ($VO_{2máx.}$)

O $VO_{2máx}$ (Volume Máximo de Oxigênio) é um indicador primordial do desempenho de esportes/modalidades contínuos que dependem da capacidade física de resistência aeróbica e anaeróbica, sendo definido como a máxima capacidade do organismo de captar, transportar e utilizar oxigênio durante o exercício de intensidade crescente (Wilmore; Costill, 2001). Segundo McArdle, Katch e Katch (2016), o $VO_{2máx}$ representa a capacidade aeróbica máxima do indivíduo e é considerado um dos principais indicadores do desempenho em esportes de resistência.

Alguns fatores podem potencialmente limitar o consumo máximo de oxigênio durante os exercícios. Esses fatores estão divididos em limitações centrais (ventilação; difusão do oxigênio; débito cardíaco; pressão sanguínea; volume de oxigênio) ou limitações periféricas (distribuição regional do fluxo de sangue; fluxo

sanguíneo muscular; densidade capilar; difusão de oxigênio; densidade mitocondrial; atividades das enzimas oxidativas; armazenagem de energia; disponibilidade de substratos; massa muscular e tipo de composição das fibras) (Plouin et al., 2018).

Segundo Powers e Howley (2017), fatores fisiológicos como o volume sistólico e frequência cardíaca máxima, afetam diretamente o débito cardíaco, a concentração de hemoglobina no sangue define a capacidade de transporte de oxigênio e a densidade mitocondrial e atividade enzimática oxidativa dos músculos, determinam a eficiência da utilização de oxigênio pelas células.

Além dos fatores fisiológicos, o $VO_{2máx}$ também é influenciado por aspectos genéticos, nível de treinamento, idade, sexo e altitude. Basset e Howley (2000) afirmam que indivíduos geneticamente predispostos podem apresentar valores de $VO_{2máx}$ superiores, mesmo com níveis similares de treinamento.

Salgueirosa (2022) discute que a principal limitação para o consumo máximo de oxigênio está relacionada com a capacidade do sistema cardiovascular em doar oxigênio para os músculos ativos, e não com a capacidade dos músculos em extrair o oxigênio do sangue fornecido, conforme demonstrado por Maughan, Gleeson e Greenhaff (2000).

Existem diferentes estratégias para melhorar a captação e utilização do oxigênio, como o treinamento contínuo de baixa intensidade, treinamento intervalado de alta intensidade (capacidade oxidativa), treinamento em altitude (eleva a concentração de hemoglobina no sangue), exercícios de força com enfoque metabólico, dieta rica em antioxidantes, treinamento respiratório e descanso, incluindo sono de qualidade. Em termos práticos, o $VO_{2máx}$ é fundamental para atletas de *endurance*, pois quanto maior essa variável, maior a capacidade de sustentar intensidades elevadas de exercício por tempo prolongado. No entanto, o desempenho não depende apenas do $VO_{2máx}$, mas também de outras variáveis como o limiar anaeróbico, a economia de corrida e a autorregulação do esforço durante a prova.

2.2.2 Autorregulação

A autorregulação é um processo determinante no resultado de desempenho de atletas corredores profissionais, envolvendo aspectos como ritmo de corrida, intensidade do esforço percebido, controle emocional, tomada de decisões e

adaptações estratégicas ligadas às condições externas encontradas durante a prova (Zimmerman, 2000).

A eficiência desse mecanismo se dá através de uma estrutura cognitiva situada na região do córtex pré-frontal (CPF), responsável pelo funcionamento das funções executivas superiores (FE) (Bigliassi, 2021). Esta por sua vez, se refere ao planejamento, inibição, resolução de problemas, processos atencionais e memória de trabalho (Albaladejo-García et al., 2023). A FE é o conjunto de habilidades cognitivas que permitem às pessoas anularem pensamentos, emoções ou comportamentos que competem com seus objetivos centrais (Hagyard et al., 2020).

Nesse sentido, estudos exploratórios que buscam compreender o funcionamento dessa estrutura em atletas de endurance poderão favorecer o desempenho e cumprimento de metas (Bigliassi, 2021). Por exemplo, durante uma prova, o atleta necessita inibir inúmeras distrações para garantir que sua atenção esteja voltada para sua autopercepção, e consequente regulação, garantindo que a estratégia pré-corrída seja evocada e retida na memória, realizando os ajustes necessários para manter seu melhor desempenho até o final do evento, evitando assim uma catástrofe fisiológica e a frustração do não cumprimento da tarefa almejada (Bigliassi, 2021; Hagyard et al., 2020; Albaladejo-García et al., 2023).

Com base nos princípios mencionados, podemos esperar que quanto mais precisa for a habilidade de acuidade de um indivíduo, maior será sua capacidade de efetuar ajustes adequados para executar o movimento motor com um nível ótimo de eficiência metabólica e musculoesquelética, visando a maximização do desempenho e a minimização de erros, incluindo a redução da fadiga. Sendo assim, em teoria, sujeitos com um maior potencial cognitivo em relação às funções executivas teriam uma vantagem na autorregulação durante uma prova competitiva (Hagyard et al., 2020; Bigliassi, 2021).

Ainda sobre a pesquisa conduzida por Haile et al. (2012) o objetivo desse experimento foi determinar a magnitude da diferença mínima detectável na percepção do esforço físico acima (JND-A) e abaixo (JND-B) de um estímulo padrão. Esse estudo se baseou em parâmetros tanto fisiológicos, como o limiar ventilatório e o valor máximo do consumo de oxigênio atingido durante um teste ($VO_{2\text{pico}}$), quanto perceptuais, utilizando a Escala OMNI-Cycle RPE para avaliar a percepção subjetiva do esforço. Os resultados deste estudo revelaram diferenças significativas nas

magnitudes do JND, sendo o JND-B estatisticamente maior do que o JND-A, tanto em termos de parâmetros fisiológicos quanto perceptuais ($p < 0,05$). Os autores concluíram com base nesses resultados que a aplicação do conceito de JND é uma abordagem eficaz para avaliar a acuidade e a precisão da percepção durante o exercício físico.

Salienta-se que em modalidades esportivas nas quais a tomada de decisões e a execução precisa de tarefas são críticas, como corrida de *endurance*, micros ou pequenos equívocos podem ter um impacto substancial no resultado da competição, determinando o vencedor.

2.3 Mecanismo Sensório-Perceptual associado ao $VO_{2máx}$.

Estudos mais recentes indicam que o desempenho aeróbico não é determinado apenas pela capacidade física do corpo, mas também por mecanismos sensório-perceptuais mediados pelo sistema nervoso central (Marcora, 2008; Noakes, 2011). O modelo psicobiológico da fadiga, proposto por Marcora (2008), sugere que a percepção de esforço é o principal determinante da cessação voluntária do exercício, mesmo antes de os limites fisiológicos serem atingidos. Essa percepção é gerada por sinais neurais advindos do córtex motor e áreas sensoriais, e é modulada por fatores como motivação, feedback sensorial, estado emocional e expectativa de desempenho.

Durante um exercício submáximo e progressivo, próximo ao $VO_{2máx}$, os sinais aferentes de receptores metabólicos e mecânicos nos músculos esqueléticos (como os quimiorreceptores e mecanorreceptores) enviam informações contínuas ao sistema nervoso central. Essas informações são integradas em estruturas como o córtex somatossensorial e o sistema límbico, gerando sensações como dor muscular, desconforto respiratório e fadiga (Noakes et al., 2005). Essas sensações são, então, interpretadas pelo atleta como esforço percebido, normalmente quantificado por escalas subjetivas como a escala de OMNI (RPE). Mesmo que o sistema cardiovascular ainda seja capaz de manter a entrega de oxigênio, a percepção crescente de esforço pode levar o indivíduo a reduzir a intensidade do exercício ou interrompê-lo completamente, evidenciando que o cérebro atua como um "regulador central" para proteger o organismo contra a catástrofe fisiológica (Tucker; Noakes, 2009).

Esse modelo contrasta com a ideia de que o $VO_{2m\acute{a}x}$ representa um limite fisiológico fixo, passando a ser visto como um ponto autorregulado, condicionado não apenas por variáveis metabólicas, mas também psicológicas e cognitivas. A tomada de decisão durante a corrida, por exemplo, é um processo sensório-perceptual: o corredor ajusta seu ritmo com base na antecipação do tempo restante e na interpretação subjetiva do seu estado fisiológico (Smirl et al., 2015).

O $VO_{2m\acute{a}x}$, portanto, deve ser compreendido não apenas como um indicador mecânico da função cardiorrespiratória, mas também como um parâmetro modulado pela interação entre o corpo e o cérebro. Os mecanismos sensório-perceptuais influenciam diretamente quando e como o indivíduo atinge esse ponto durante o exercício. Isso abre espaço para intervenções que vão além do treinamento físico, como estratégias de motivação, manipulação de foco atencional, uso de feedback externo e técnicas de respiração consciente para otimizar o desempenho aeróbico.

2.4 Percepção Subjetiva do Esforço

No final da década de 1960, Gunnar Borg, psicólogo sueco, notou a necessidade de métodos de monitoramento da intensidade dos exercícios físicos que não necessitassem de uma avaliação fisiológica tão complexa, como por exemplo, a avaliação do consumo máximo de oxigênio ou da frequência cardíaca, levando em consideração ainda sua natureza subjetiva, pois o esforço possuía uma correlação significativa com as respostas fisiológicas do organismo durante a atividade.

Surge então, a escala de percepção subjetiva de esforço (PSE) de Borg, definida como uma sensação de dificuldade e esforço que o exercício provoca no organismo, resultado da tensão muscular, fadiga e falta de ar (Borg, 1982). A escala incluía um intervalo numérico de 6 a 20, juntamente com nove descritores verbais que abrangem o continuum de esforço de 6 (nenhum esforço) e terminando com 20 (esforço máximo). Segundo Borg, a justificativa para a escolha do “6” como ponto de partida na escala, é porque quando multiplicado por 10, corresponde a uma frequência cardíaca típica de repouso. Já os outros números na escala 6-20 também podem ser multiplicados por 10, fornecendo a frequência cardíaca equivalente esperada para homens normais, saudáveis, de meia-idade ou em toda a gama de intensidades de

exercício. Os coeficientes de correlação entre a PSE e frequência cardíaca foram relatados em torno de 0,85 para ambas as modalidades de exercício (Borg, 1998).

Prática, confiável e de fácil acesso, a Escala de Borg rapidamente se disseminou no campo da ciência dos exercícios, permitindo que atletas e treinadores utilizassem a PSE como um indicador de intensidade durante seus treinamentos e competições.

Posteriormente, na década de 1980, Borg desenvolveu uma revisão da escala original, resultando na escala de categoria-razão CR10. Esta nova versão introduziu um ponto zero absoluto e uma progressão não linear, demonstrando maior sensibilidade na avaliação de esforços de alta intensidade, nos quais a tradicional apresentava uma compressão da faixa superior. A sua evolução, demonstrou um refinamento contínuo na tentativa de otimizar a validade e a aplicabilidade deste instrumento no contexto do treinamento e da pesquisa em exercício físico (Borg, 1998).

A visão contemporânea dos fatores que influenciam o esforço percebido durante o exercício dinâmico é descrita pelo “modelo explicativo global”, o qual fornece uma explicação abrangente dos sinais ou estímulos externos e internos que moldam o esforço percebido. A complexa integração de mediadores de sinais fisiológicos, psicológicos, ambiente de desempenho, estratégia competitiva, experiências prévias, entre outros fatores, resultam na classificação individualizada do esforço percebido (Robertson; Noble, 1997; Noble; Robertson, 1996).

As respostas fisiológicas durante o exercício, como aumentos no consumo de oxigênio, produzirão uma tensão muscular esquelética correspondente que exigirá um aumento nos comandos centrais de respostas do córtex motor. Por sua vez, comandos eferentes centrais são transmitidos ao córtex sensorial, que por interação com aferentes periféricos irá gerar sinais perceptivos de esforço (Robertson, 2001). Os filtros de referência perceptiva parecem ser o passo antecedente antes que o indivíduo tome uma decisão e classifique seu esforço percebido. Estes acumulam informações sobre a experiência anterior do indivíduo afinando a resposta perceptiva, de acordo com a magnitude do estímulo. Portanto, é provável que a experiência anterior tenha um grande efeito na habilidade do indivíduo de avaliar seu esforço percebido. Além disso, esse processo complexo influencia o estilo perceptivo do indivíduo (Robertson, 2001).

Desta forma, Robertson et al. (2004) desenvolveram o sistema OMNI, o qual tinha por objetivo aplicar a percepção do esforço no exercício propriamente dito, com características específicas a prática de atividades físicas. Essa versão foi incorporada a uma série de métricas de escala perceptual recém-desenvolvidas. O sistema OMNI (total) significa que as escalas de PSE foram desenvolvidas com o objetivo de serem aplicadas a todos os tipos de modos de exercício, características individuais ou configurações de atividade física (Robertson, 2004).

Conforme reportado por Krause (2010), os procedimentos por trás do desenvolvimento das novas escalas OMNI RPE consistiram em quatro etapas: primeiramente, foram desenhados pictóricos por um artista mostrando crianças e adultos de ambos os sexos realizando diferentes exercícios com diferentes graus de esforço. As fotos foram feitas em tons de cinza sobre fundo branco para proporcionar uma ampla generalização sobre os tons de pele humana. As modalidades de exercício selecionadas foram ciclismo, caminhada/corrída, step e levantamento de peso; a etapa subsequente consistiu em mostrar essas imagens específicas de modo-exercício de crianças para meninos e meninas, da mesma forma que fotos de adultos se exercitando foram mostradas para homens e mulheres adultos clinicamente normais. Os sujeitos foram solicitados a fornecer descritores verbais associados ao esforço percebido em cada figura: a terceira etapa incluiu uma análise diferencial semântica desses descritores verbais, em que seis descritores foram escolhidos separadamente para crianças e para adultos. A palavra raiz mais comum para crianças foi “cansada”, enquanto os adultos usaram as palavras “fácil” e “difícil” para definir o nível de esforço representado nas ilustrações.

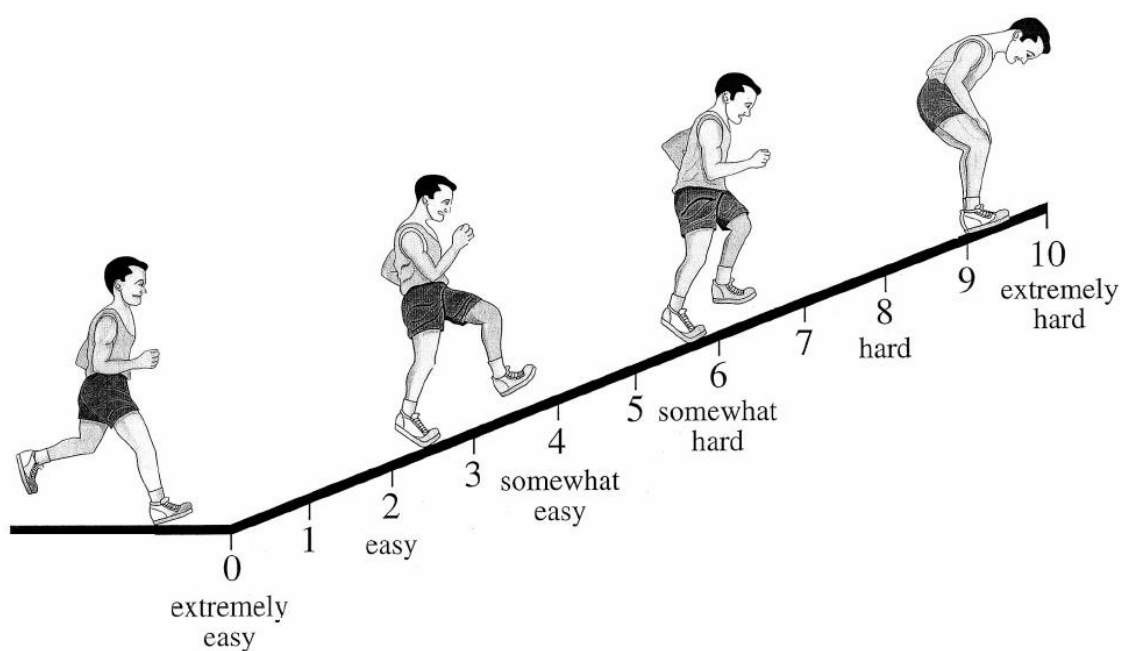
Por fim, essas seis pistas verbais foram colocadas equidistantes ao longo de uma estreita faixa numérica de 0 a 10. Da mesma forma, os quatro descritores pictóricos foram colocados equidistantes na escala, e os descritores verbais foram colocados no zero como ponto de partida. Além disso, números, figuras e descritores verbais foram alinhados ao longo de um formato graduado, fornecendo evidências visuais adicionais de aumento da intensidade do exercício e, portanto, da percepção do esforço (Robertson et al., 2000; Robertson, 2004).

Robertson e seus colaboradores, ainda desenvolveram modelos alternativos de escalas, tanto para crianças quanto para adultos, sendo elas: a escala OMNI para exercícios contra resistidos; a escala OMNI para ciclismo; e a escala OMNI para

caminhada e corrida, validada por Utter et. al. (2004). A validade concorrente e deste construto foi estabelecida usando um desenho experimental de estimativa perceptual transversal, consistindo de homens clinicamente normais recreativamente ativos ($n = 33$) e mulheres ($n=34$).

Na corrida, especialmente, a percepção do atleta quanto ao esforço é fundamental e, deve estar alinhada com uma boa estratégia de ritmo (Billat, 2006). Assim sendo, destaca-se, que o treinamento perceptual pode contribuir para a realização de ajustes eficientes no gesto motor, objetivando o controle da intensidade ideal para manter o rendimento máximo no esporte.

Figura 1 – Escala OMNI – Caminhada/Corrida (2004)

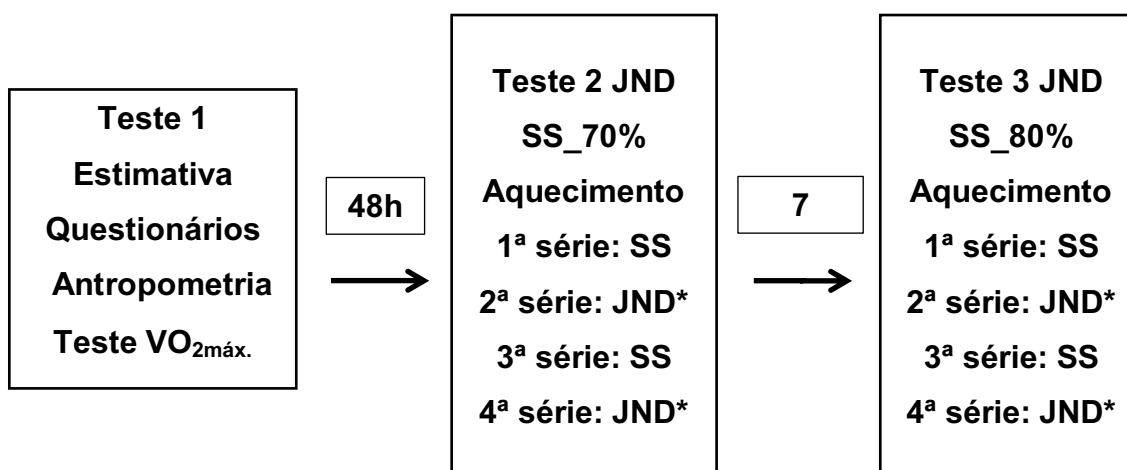


3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Tipo do Estudo

O tipo do estudo é descritivo com abordagem quantitativa. As etapas consistem em um teste máximo e dois testes para determinação da mínima diferença detectável – conforme figura 2.

Figura 2. Fluxograma das Sessões Experimentais



JND: *just noticeable difference*; SS: *standard stimulus* – estímulo padrão.

3.2 Participantes

A amostra deste estudo foi composta por 15 corredores competitivos, bem treinados, do sexo masculino, com experiência prévia de pelo menos um ano em competições de nível nacional e internacional, em corridas de rua e trilhas, desde os 5.000m até ultramaratonas. Os participantes foram selecionados através de divulgação da pesquisa em competições oficiais nas quais os procedimentos inerentes ao projeto de pesquisa incluindo os objetivos, benefícios e riscos foram informados aos atletas. Especificamente para este estudo, foram incluídos apenas os corredores que atingiram uma velocidade maior ou igual a $4,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($16,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) durante o teste máximo na esteira.

3.3 Banco de Dados

Os dados para execução do presente estudo foram obtidos do projeto coordenado pela Profa. Maressa Krause, intitulado Aplicação Psicofisiológica para Maximizar a Autorregulação e o Desempenho de Atletas Profissionais, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas da UTFPR (CAAE: 30162914.9.0000.5547).

3.4 Instrumentos e Procedimentos

O projeto foi composto por três sessões experimentais separadas conforme apresentado na figura 2.

A primeira sessão experimental, designada de Estimação, foi iniciada com o fornecimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) ao participante. Foi solicitado que o mesmo preenchesse o documento e esclarecesse qualquer dúvida existente no protocolo da pesquisa, finalizando com a assinatura do termo, no qual é condicionado a participação voluntária do participante na pesquisa. Na sequência, informações demográficas (nome completo, data de nascimento e telefone para contato), histórico médico e experiência com a corrida foram questionadas. Logo após, foram coletadas as medidas antropométricas (massa e estatura corporal). Por fim, o corredor executou um teste máximo em esteira, a fim de determinar os parâmetros fisiológicos e perceptuais, que seriam utilizados na sessão experimental posterior. Os participantes deveriam relatar o esforço geral percebido durante os últimos 15 segundos de cada minuto e no esforço máximo. Os estímulos do teste JND foram correspondentes às velocidades de $70\%VO_{2máx}$ e $80\%VO_{2máx}$.

As segunda e terceira sessões experimentais, designadas de *Just Noticeable Difference* – JND, foram conduzidas com um intervalo entre 48h e uma semana, respectivamente, da primeira sessão experimental (Estimação), consistindo em quatro séries de exercício em esteira, com duração de 5 minutos cada, e com um intervalo de recuperação de 5 minutos entre séries. Estas sessões determinaram a Acuidade Perceptual, que é composta pela mínima diferença detectável total (JND-T) e as oscilações acima (JND-A) e abaixo (JND-B) do parâmetro fisiológico (70% e 80% do $VO_{2máx}$), estabelecido como estímulo padrão na primeira sessão experimental.

Durante o contato inicial com os atletas um investigador instruiu sobre as recomendações prévias para execução das sessões experimentais, a saber: evitar a ingestão de alimentos antes de três horas do início dos testes, manter o estado habitual de hidratação, não consumir álcool e produtos contendo cafeína ou exercícios vigorosos nas 48 horas que antecedem os testes.

Antes de iniciar os testes, todos os participantes receberam instruções padronizadas dos procedimentos de testagem, que foram lidas seguindo um roteiro, por um investigador da pesquisa previamente treinado.

Primeira Sessão Experimental – Protocolo de Estimação

A sessão teve início com o fornecimento do TCLE ao participante. Na sequência, a massa e estatura corporal foram mensuradas através de uma balança com estadiômetro (marca Welmy, modelo 104A; resolução de 0,1 quilogramas e 0,5 centímetros) – posteriormente o IMC foi calculado. Logo após, um investigador realizou o procedimento de ancoragem por memória da escala de percepção subjetiva do esforço (PSE) *OMNI* para corredores (Robertson, 2004). Então, a fita do cárdio frequencímetro (Polar Electro Inc., Lake Success, NY, USA) foi ajustada ao tórax do participante e o mesmo posicionado na esteira, após os ajustes necessários (conforme a individualidade e rotina de cada atleta), finalizando com a colocação da máscara para coleta das trocas gasosas na face. Após um breve aquecimento para familiarização com o equipamento, testagem do posicionamento do atleta no ergômetro e do funcionamento do sistema metabólico ser realizado, o teste máximo foi iniciado.

Antes de iniciar o teste, o sistema de mensuração metabólica foi calibrado. O teste máximo foi executado com o participante iniciando a uma velocidade de 8,0 km/h na esteira e 1% de inclinação. A duração dos estágios foi de um minuto, sendo acrescida a velocidade de 1km/h a cada estágio, até que o esforço máximo seja atingido ou que o participante não consiga manter o padrão de movimento da corrida. Um procedimento de volta a calma foi conduzido por até cinco minutos, com os atletas caminhando em velocidade baixa. A frequência cardíaca foi monitorada a cada minuto durante o teste. As concentrações gasosas expiradas (oxigênio e gás carbônico) foram coletadas e analisadas por um circuito aberto de espirometria com intervalos de

30 segundos, utilizando um Parvo Medics TrueMax 2400 Metabolic Measurement System (Salt Lake City, UT, USA). Todos os participantes receberam encorajamento verbal padronizado, objetivando o seu esforço máximo. A PSE associada a todo o corpo foi estimada pelo participante durante os últimos 15 segundos de cada minuto e exatamente no esforço máximo (pico), utilizando a escala de PSE OMNI-corrída para adultos. Posteriormente, o limiar ventilatório foi determinado pelo método equivalente ventilatório (Wasserman et al., 1973). Análises de regressão foram utilizadas para determinar a PSE, potência e consumo de oxigênio (VO_2), correspondente ao limiar ventilatório de cada indivíduo. O consumo de oxigênio foi utilizado como o estímulo padrão durante a sessão JND.

Sessões Experimentais 2 e 3 – Protocolo JND (70% e 80% do $VO_{2máx.}$)

Os testes consistiram em quatro séries, com duração de 5 minutos cada, separados por 5 minutos de recuperação na posição em pé na esteira. Durante as séries 1 e 3, o participante realizou o exercício com a velocidade padronizada em 70% ou 80% do seu consumo máximo de oxigênio (determinado na sessão 1). Durante as séries 2 e 4, o participante foi instruído a ajustar e manter o nível de esforço acima ou abaixo da diferença mínima detectável (JND-A ou JND-B, respectivamente) vivenciado no estímulo padrão – a sequência do JND foi realizada em ordem contrabalanceada entre os participantes. A frequência cardíaca e o consumo de oxigênio foram mensurados continuamente durante o exercício a cada minuto. Nenhuma informação relativa à intensidade, potência, frequência cardíaca ou consumo de oxigênio foram fornecidas ao participante.

Procedimentos do Estímulo Padrão (séries 1 e 3):

Após um avaliador ajustar o cárdio frequencímetro no participante e posicioná-lo na esteira, as explicações padronizadas foram lidas. O atleta realizou um aquecimento de cinco minutos antes da primeira série, e então, executou a primeira série de cinco minutos, correndo em sua velocidade padrão (70% ou 80% VO_{2pico}). Foi reforçado para que o atleta mantivesse a concentração na PSE.

- **Até 0:59s**, o pesquisador ajustou progressivamente a velocidade da esteira até atingir a velocidade padrão.
- **Em 1:30m e a cada 30s até 4:30m**, o pesquisador leu em voz alta: “Agora você está realizando a série padrão”. NÃO foram realizados ajustes na série padrão.
- **Em 5:00m**, foram coletados os dados do analisador.

Procedimentos do JND (série 2 e 4):

O atleta foi instruído a correr durante cinco minutos a fim de determinar o JND-A e JND-B. Foi feito um reforço de instruções sobre o procedimento e ajustes da velocidade até atingir a mínima diferença detectável acima/abaixo do padrão que acabou de realizar

- **Até 0:59s**, o pesquisador ajustou progressivamente a velocidade da esteira até atingir o padrão (procedimento similar em todas as séries).
- O pesquisador aguardou 60 segundos (entre 1min e 1:59m).
- **Em 2:00m e a cada 30s até 3:30m**, o pesquisador leu em voz alta: “Se necessário, solicite o ajuste da velocidade até atingir a mínima diferença detectável acima/abaixo do padrão”.
- **Em 4:00m**, foi informado ao atleta para não realizar mais ajustes, mantendo a velocidade selecionada nesse último minuto.
- **Em 5:00m**, foram coletados os dados do analisador.

3.5 Análise dos Dados

Uma análise de variância (RM-ANOVA) de medidas repetidas bidirecional por Mapeamento Paramétrico Estatístico (MPE) foi conduzida para comparar as alterações na cinética do VO_2 . As estatísticas de MPE {F} foram calculadas com uma taxa de erro de 5%, controlada pelo procedimento de Holm-Bonferroni. A significância estatística foi identificada quando as estatísticas do teste excederam o limite, formando clusters ao longo do contínuo, para os quais os valores de p serão calculados e relatados. Uma RM-ANOVA bidirecional também foi utilizada para comparar cada variável dependente (percepção de tempo, PSE, velocidade e FC) em pontos de tempo correspondentes, com correções post-hoc, identificando diferenças

significativas. O eta quadrado parcial (η^2_p) foi calculado para determinar o tamanho do efeito das diferenças observadas. Estatísticas descritivas foram relatadas por meio de média e desvio-padrão (\pm), salvo necessidade de outra métrica. As análises estatísticas foram realizadas usando o Jamovi (versão 2.3.18) e a distribuição Enthought Canopy do Python (versão 1.7.4.3348), utilizando o pacote de código aberto "spm1d".

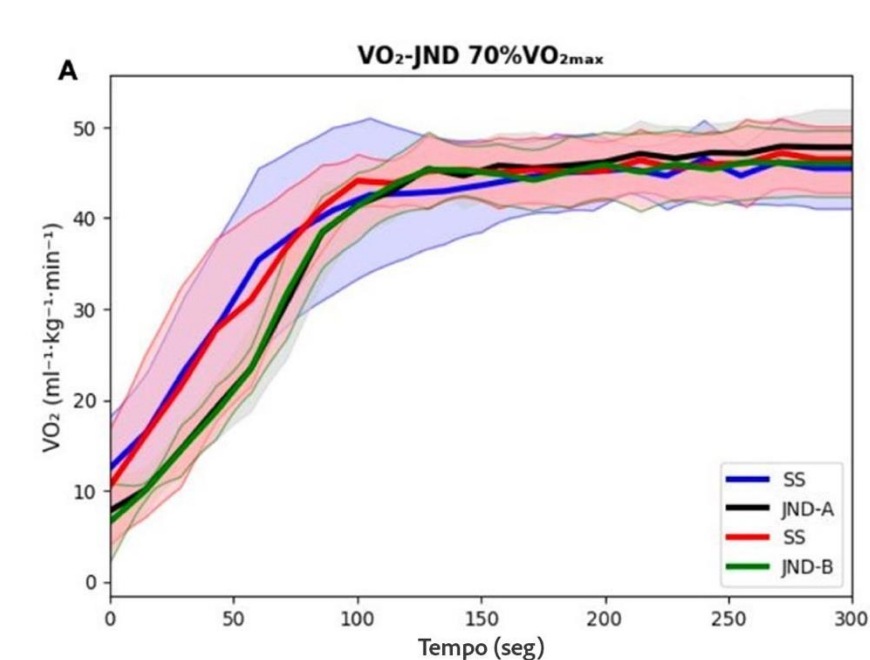
4 RESULTADOS

Participaram deste estudo 15 corredores competitivos, bem treinados do sexo masculino, com experiência prévia em competições oficiais por pelo menos um ano (Idade: $34,27 \pm 6,91$ anos; IMC: $22,81 \pm 2,27$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $\text{VO}_{2\text{máx}}$: $60,99 \pm 4,36$ $\text{ml}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Os resultados do teste máximo indicam uma alta capacidade aeróbica dos participantes. A acuidade perceptual dos corredores foi em média $3,76 \pm 1,63$ $\text{ml}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ou $6,14 \pm 2,59$ % $\text{VO}_{2\text{máx}}$ no teste JND a $70\%\text{VO}_{2\text{máx}}$; e $2,52 \pm 1,17$ $\text{ml}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ou $4,17 \pm 1,88$ % $\text{VO}_{2\text{máx}}$ no teste JND a $80\%\text{VO}_{2\text{máx}}$. Assim, uma maior precisão ocorreu quando a intensidade padrão foi maior.

Conforme ilustrado nas figuras 3 e 4, observamos a cinética do VO_2 durante o teste JND a $70\%\text{VO}_{2\text{máx}}$ e $80\%\text{VO}_{2\text{máx}}$, respectivamente. Durante o primeiro minuto, o VO_2 aumentou rapidamente e se estabilizou no segundo minuto.

Figura 3. Cinética do Consumo de Oxigênio (VO_2 -JND $70\%\text{VO}_{2\text{máx}}$)

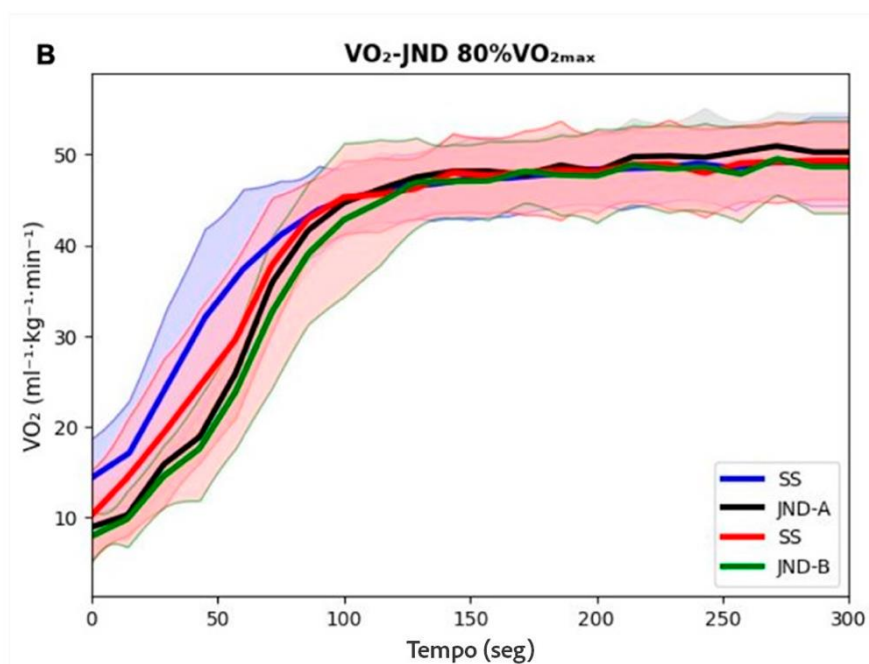
Fonte: o autor (2025)



SS: standard stimulus – estímulo padrão.

Figura 4. Cinética do Consumo de Oxigênio (VO_2 -JND 80% VO_{2max})

Fonte: o autor (2025)



SS: *standard stimulus* – estímulo padrão.

A análise por SPM (figuras 5 e 6), demonstra que os valores de VO_2 em cada ensaio de JND diferem significativamente intraindivíduos (70% do VO_{2max} : $p = 0,001$; 80% do VO_{2max} : $p < 0,001$) e entre os indivíduos (70% do VO_{2max} : $p = 0,001$; 80% do VO_{2max} : $p < 0,001$). A análise SPM indicou que a cinética do VO_2 no final das séries de exercícios, com tempo variando de 247 segundos a 284 segundos, em cada teste JND, diferiu significativamente apenas intraindivíduos (70% VO_{2max} : $p=0,047$, $p=0,039$; 80% VO_{2max} : $p=0,040$, $p=0,011$, respectivamente).

Figura 5. Cinética do Consumo de Oxigênio (VO_2 -JND 80% VO_{2max})

Fonte: o autor (2025)

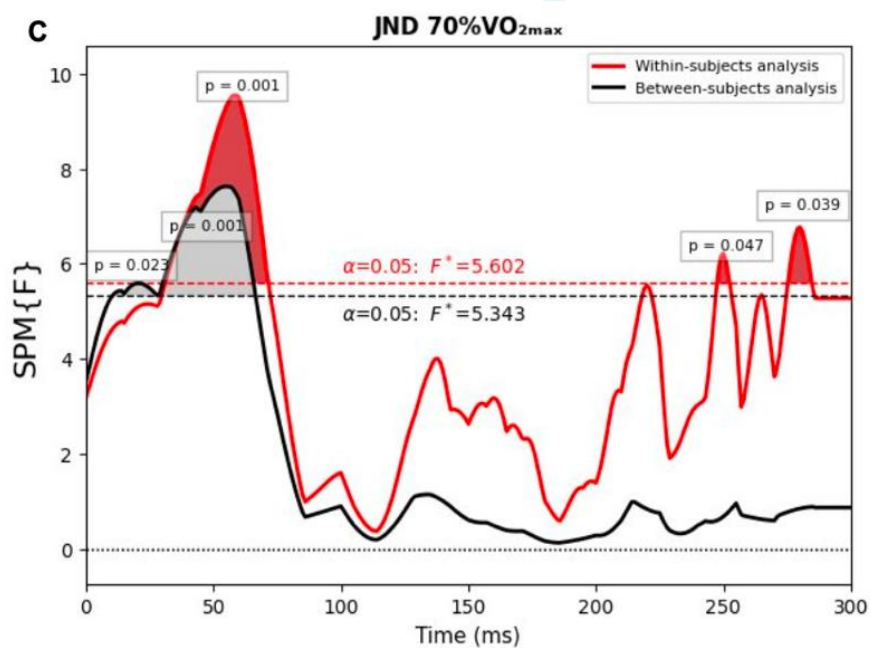
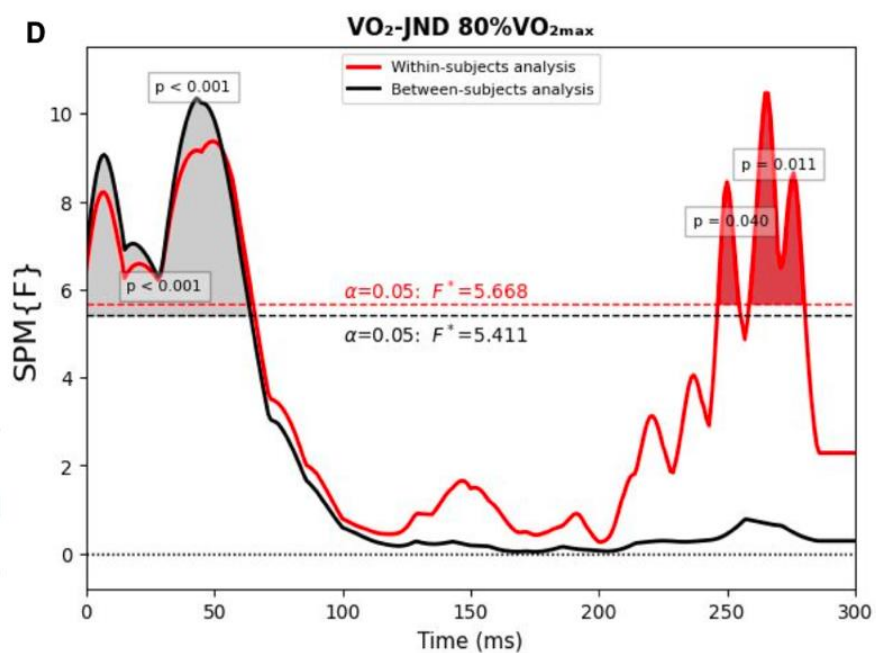


Figura 6. Cinética do Consumo de Oxigênio (VO_2 -JND 80% VO_{2max})

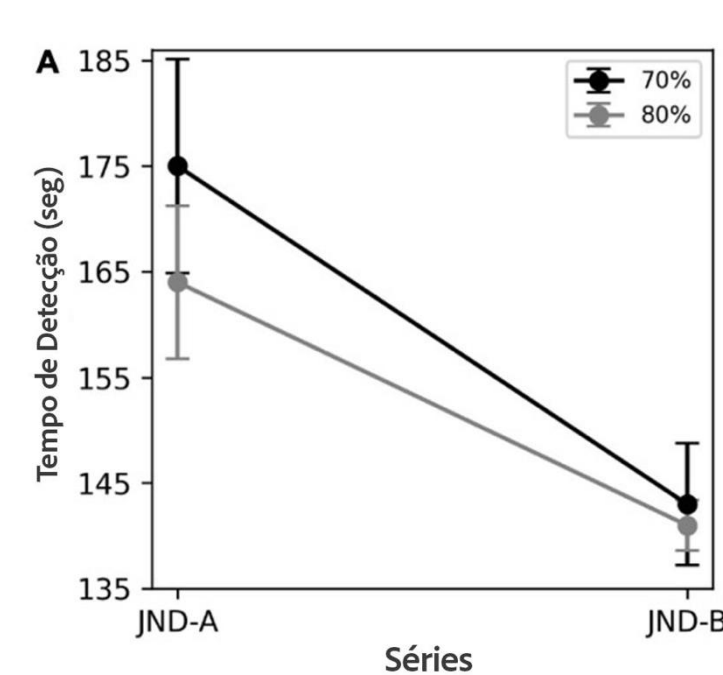
Fonte: o autor (2025)



A figura 7 apresenta que o tempo necessário para detectar a alteração mínima da intensidade acima do padrão (JND-A) foi maior na série JND a 70%VO_{2máx} quando comparada a 80%VO_{2máx}. Em relação a série abaixo do padrão (JND-B), o tempo foi menor tanto para 70%VO_{2máx} quanto para 80%VO_{2máx}.

Figura 7. Tempo para detectar mínimas alterações dos estímulos.

Fonte: o autor (2025)



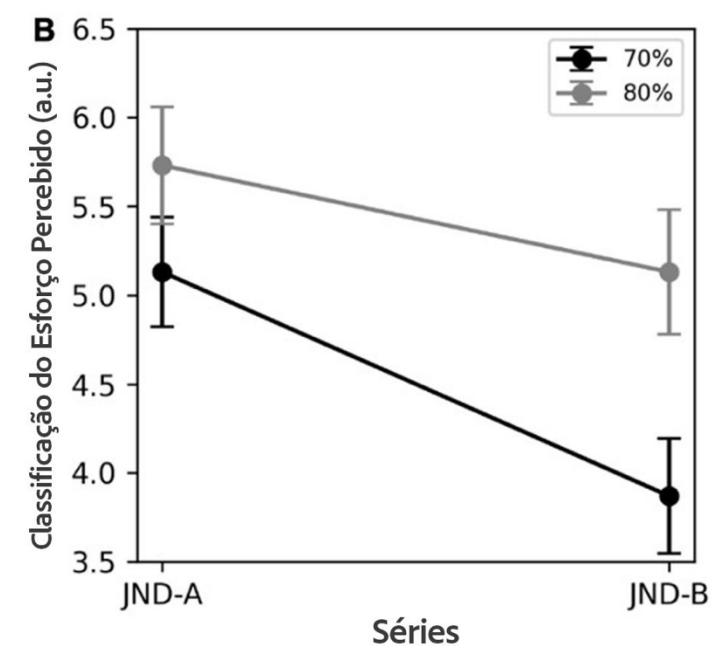
Um efeito principal significativo da sessão de exercício foi observado para TD ($F [1,22] = 23,233$, $p < 0,001$, $\eta^2 p = 0,514$). Nenhum efeito principal significativo do ensaio JND ($F [1,22] = 0,708$, $p = 0,409$, $\eta^2 p = 0,031$) ou interação ($F [1,22] = 0,691$, $p = 0,415$, $\eta^2 p = 0,030$) foi identificado. As análises post-hoc revelaram diferenças significativas no TD entre JND-A e JND-B a 70% VO_{2máx}. ($\Delta = 32,58$ segundos, $p < 0,001$) e entre JND-A e JND-B a 80% VO_{2máx}. ($\Delta = 23$ segundos, $p = 0,010$).

A figura 8 mostra que um efeito principal significativo da sessão de exercício ($F [1,28] = 32,47$, $p < 0,001$, $\eta^2 p = 0,537$) e do ensaio JND ($F [1,28] = 4,64$, $p = 0,040$, $\eta^2 p = 0,142$) foi identificado para a PSE, sem interação significativa ($F [1,28] = 4,14$, $p = 0,051$, $\eta^2 p = 0,129$). Análises post-hoc revelaram diferenças na PSE entre as sessões JND-A e JND-B a 70%VO_{2máx} ($\Delta = 1,27$ u.a., $p < 0,001$) e a 80%VO_{2máx} ($\Delta = 0,60$ u.a., $p = 0,015$). Diferenças significativas também foram observadas entre JND-B a

70%VO_{2máx} e JND-A a 80%VO_{2máx} ($\Delta=1,87$ u.a., $p<0,001$) e entre JND-B a 70%VO_{2máx} e JND-B a 80%VO_{2máx} ($\Delta=1,27$ u.a., $p=0,013$).

Figura 8. Classificação do Esforço Percebido

Fonte: o autor (2025)



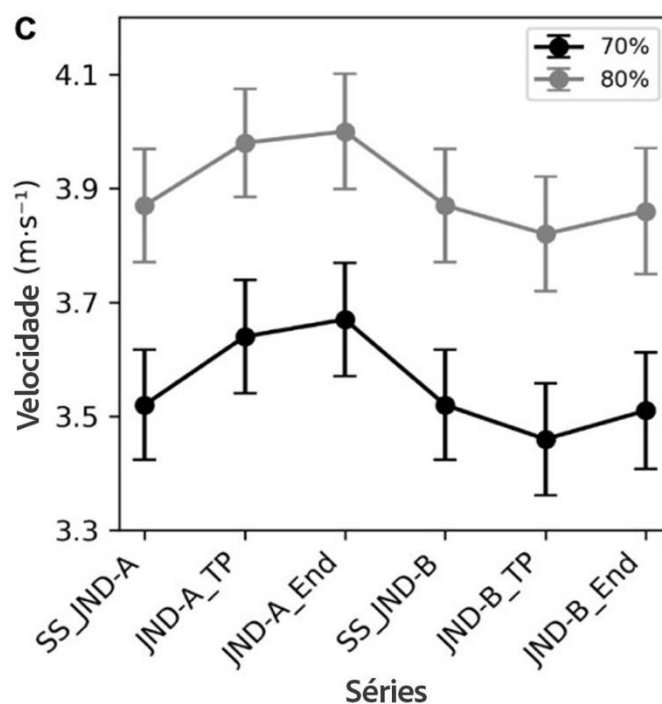
Um efeito principal significativo do exercício ($F [5,140] = 61,887$, $p<0,001$, $\eta^2p=0,688$) e do teste JND ($F [1,28] = 6,11$, $p=0,020$, $\eta^2p=0,179$) foi identificado para velocidade, sem interação significativa ($F [5,140] = 0,309$, $p=0,907$, $\eta^2p=0,011$; Figura 9). Análises post-hoc revelaram diferenças significativas na velocidade entre SS no início da sessão JND-A (SS_JND-A) e no final da sessão JND-A (JND-A End) a 70%VO_{2máx} ($\Delta= 0,15$ m·s⁻¹, $p< 0,001$) e a 80%VO_{2máx} ($\Delta= 0,12$ m·s⁻¹, $p< 0,001$). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre SS_JND-B e JND-B_End em cada sessão JND ($p> 0,100$).

Todas as comparações pareadas dentro dos ensaios identificaram diferenças não significativas ao comparar a velocidade no tempo de detecção com a velocidade no final da sessão de exercício, exceto entre JND-B_TD com JND-B_End a 70%VO_{2máx} ($\Delta=0,055$ m·s⁻¹, $p=0,008$). As comparações pareadas entre os ensaios JND (70%VO_{2máx} vs. 80%VO_{2máx}) identificaram diferenças significativas ao comparar a velocidade em JND-A_PT ($\Delta=0,342$ m·s⁻¹; $p=0,018$) e em JND-B_PT ($\Delta=0,361$ m·s⁻¹; $p=0,016$). Finalmente, a análise post-hoc identificou diferenças não significativas

entre os períodos SS_JND-A com JND-B_End em 70%VO_{2máx} ($\Delta=0,0003$ m·s⁻¹, $p=0,865$) e em 80%VO_{2máx} ($\Delta=0,012$ m·s⁻¹, $p=0,553$)

Figura 9. Velocidade

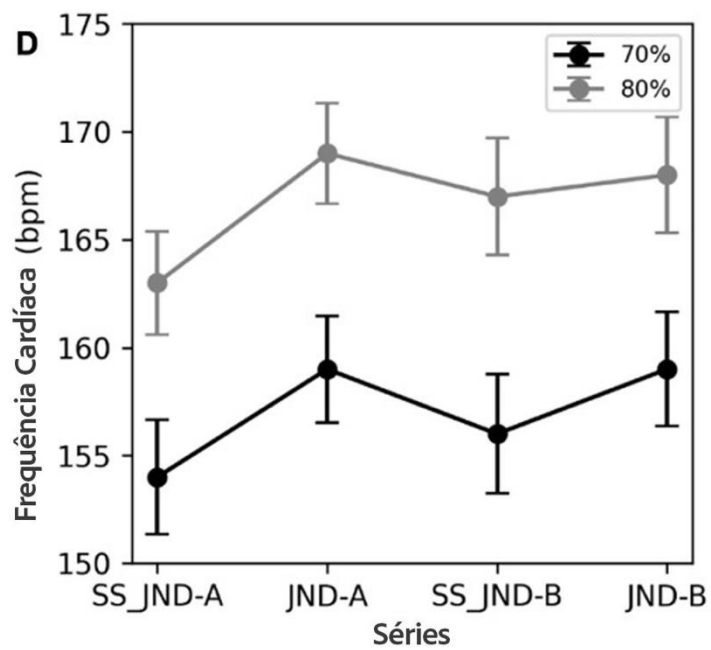
Fonte: o autor (2025)



As medições de FC foram registradas ao final de cada sessão de exercício. Um efeito principal significativo da sessão de exercício ($F [2,06, 55,72] = 10,345$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,277$) e do ensaio JND ($F [1, 27] = 7,08$, $p = 0,013$, $\eta^2p = 0,208$) foi identificado para a FC; sem interação ($F [12,8, 55,72] = 0,314$, $p = 0,739$, $\eta^2p = 0,011$; ver Figura 10). Curiosamente, as análises post-hoc não revelaram diferenças significativas na FC entre as sessões JND-A e JND-B a 70%VO_{2máx} ($\Delta=1,28$ u.a., $p=0,346$) e a 80%VO_{2máx} ($\Delta=1,46$ u.a., $p=0,267$).

Figura 10. Frequência Cardíaca

Fonte: o autor (2025)



5 DISCUSSÃO

Os dados sobre a cinética do VO_2 revelaram um aumento rápido e significativo no VO_2 , tanto intra quanto interindividuais, estabilizando-se no segundo minuto de cada sessão de exercício. Isso ocorre não somente por questões fisiológicas ligadas ao exercício, mas também pela integração de componentes interoceptivos. O cérebro envia sinais simultâneos para os músculos e para os centros cardiorrespiratórios no tronco encefálico, ativando mecanorreceptores e metaborreceptores musculares, realizando uma integração cortical da percepção corporal interna, contribuindo para o aumento rápido do VO_2 logo no início do exercício.

De acordo com Craig (2003), a regulação do VO_2 está associada à integração entre mecanismos fisiológicos e interoceptivos, desta forma, as respostas iniciais observadas na cinética do VO_2 refletem uma adaptação perceptiva que orienta o comportamento motor e o controle da intensidade. A interocepção abrange a detecção aferente, o processamento central e a representação mental dos nossos sinais corporais internos, ocorrendo em todos os principais sistemas biológicos, por exemplo, cardiovascular, gastrointestinal e termorregulador. Índices de transmissão de sinais viscerais aferentes, como frequência cardíaca, pressão arterial, frequência respiratória, etc., atuam como pré-requisito para o processamento central subsequente e a representação mental da condição fisiológica do corpo. Isso é corroborado pela capacidade tanto da excitação cardiovascular induzida quanto dos índices da dinâmica cardiovascular em repouso de afetar o desempenho interoceptivo em tarefas comportamentais, representando a importância da transdução e codificação da entrada aferente que entra no sistema interoceptivo na periferia e fornecendo o limiar necessário para iniciar a cascata de comunicação subsequente ao longo do eixo cérebro-corpo (Wallmann-Jones et al., 2021).

No entanto, as comparações das alterações no VO_2 ao final das sessões de JND não mostraram diferenças significativas entre os participantes, indicando que a magnitude das alterações no VO_2 foi consistente entre os corredores. Essas microvariações foram insuficientes para demonstrar diferenças interindividuais significativas. As análises sugerem que cada corredor autorregula seu esforço para produzir VO_2 -JND com base tanto na percepção de esforço durante a sessão padrão quanto na percepção momentânea de esforço durante a respectiva sessão. Dessa forma, o VO_2 e a PSE parecem ser modulados de maneira integrada, em um processo

de autorregulação que equilibra as demandas metabólicas com a tolerância perceptiva ao esforço (Noakes, 2011).

A habilidade de acuidade perceptiva de corredores masculinos treinados melhorou à medida que a intensidade do exercício aumentou de 70% do $VO_{2máx.}$ para 80% do $VO_{2máx.}$ (6,57% e 4,71%), consistente com os presentes achados. Esse fenômeno pode ser influenciado pelos níveis de condicionamento físico individual e pelo histórico de treinamento, que estão intimamente ligados à experiência anterior. Ainda de acordo com a proposta de Noakes (2011), o sistema nervoso central integra múltiplos sinais homeostáticos, ajustando o recrutamento muscular e prevenindo a falência fisiológica, auxiliando na regulação do desempenho e prevenção da fadiga antecipada.

Corredores treinados apresentam mecanismos interoceptivos mais refinados, com maior habilidade de integração dos sinais aferentes de origem periférica no córtex insular, facilitando ajustes automáticos na intensidade do exercício, antes que a fadiga periférica limite o desempenho. A precisão perceptiva aprimorada em 80% $VO_{2máx}$ pode refletir uma maior percepção das sensações corporais internas devido ao aumento da entrada sensorial da periferia para o SNC em intensidades de exercício mais elevadas (Bigliassi; Filho, 2022).

O exercício aeróbico induz mudanças estruturais no cérebro, que desempenha um papel fundamental no processamento de informações sensoriais. Essas mudanças aumentam a ativação neural e a eficiência da comunicação, melhorando a habilidade do cérebro de receber, interpretar e integrar sinais sensoriais à consciência focal (Chen et al., 2021). Segundo Marcora (2008), a PSE não é apenas um reflexo das alterações fisiológicas, mas o principal determinante da tolerância ao exercício, modulada por fatores motivacionais, cognitivos e emocionais, sendo a variável de controle para equilibrar a demanda metabólica e o custo perceptivo, otimizando o desempenho dentro dos limites da homeostase percebida.

Especificamente, a ativação aumentada do giro pós-central em indivíduos altamente treinados pode facilitar uma interpretação mais precisa de estímulos somatossensoriais, como sinais proprioceptivos e interoceptivos. Isso permite uma integração mais precisa de novas informações sensoriais com experiências anteriores, possibilitando a geração de respostas perceptivas conscientes essenciais para a otimização de tarefas (Bigliassi; Filho, 2022).

Scholler et al. (2021), num estudo com ciclistas treinados, afirmam que o aumento da eficiência neural com o aumento da intensidade do esforço poderia explicar, em parte, a melhora na habilidade dos atletas de produzir esforços percebidos com precisão nas zonas de intensidade submáximas. Consequentemente, indivíduos com maior aptidão física e um repertório motor bem desenvolvido estão mais bem equipados para perceber e se adaptar a demandas específicas, adaptando seu comportamento de forma eficaz em ambientes dinâmicos.

Além da treinabilidade, os participantes deste estudo são classificados como corredores competitivos e bem treinados. Essa distinção pode explicar parcialmente sua motivação para intuitiva ou inconscientemente, buscar intensidades de exercício semelhantes às de eventos competitivos ou associadas aos seus melhores desempenhos pessoais (Palacin et al.; 2023). Billat e colaboradores (2020, 2022) investigaram o fenômeno de corredores recreativos "atingindo o limite" e observaram que esses corredores frequentemente excediam seu melhor desempenho pessoal em determinados momentos, levando a uma queda no desempenho e necessitando de redução do esforço. Essa ocorrência pode ser decorrente da falta de experiência em autorregular o ritmo de acordo com as mudanças nas demandas fisiológicas ou de uma intensa motivação para manter o desempenho ideal. Nesses casos, os sinais corporais podem ser parcialmente suprimidos ou momentaneamente amortecidos, permitindo que os corredores mantenham o esforço temporariamente, mas à custa da resistência a longo prazo e da estabilidade do desempenho (Schmiedl; Schulte; Kauffeld, 2022).

De acordo com Skorski e Abbiss (2017), essa regulação da velocidade, potência ou gasto energético ao longo de uma tarefa parece ser regulada por relações complexas entre o cérebro e outros sistemas fisiológicos. Este fenômeno pode ser explicado pela teoria teleoantecipatória (Ulmer, 1996; St. Clair Gibson e Noakes, 2004), o modelo do governador central (Noakes et al., 2001), o modelo baseado na percepção (Tucker, 2009), o modelo de consciência do ritmo (Edwards e Polman, 2013) e o modelo psicobiológico (Marcora, 2010; Pageaux, 2014).

A cinética do VO_2 foi analisada e comparada com o tempo de detecção dos corredores quando a intensidade do exercício aumentou (JND-A) versus diminuiu (JND-B). Ao longo das sessões de 5 minutos, o tempo para detectar alterações mínimas provenientes do esforço variou de 141 a 175 segundos. Corredores

detectaram mudanças mais rapidamente ao autorregular o esforço para produzir um VO_2 -JND abaixo do estímulo padrão (70% $VO_{2máx}$: 143 segundos; 80% $VO_{2máx}$: 141 segundos) em comparação com acima do estímulo padrão, levando a um tempo mais longo para detectar alterações (70% $VO_{2máx}$: 175 segundos; 80% $VO_{2máx}$: 164 segundos). No estímulo padrão correspondente a 80% $VO_{2máx}$, o estresse fisiológico elevado provavelmente facilitou respostas mais rápidas por meio do aumento da frequência do sinal sensorial para o SNC, melhorando a consciência corporal (Bigliassi, 2021).

Essas descobertas sugerem que corredores competitivos podem ajustar o esforço com base no esforço percebido, produzindo mudanças sutis e significativas no VO_2 . A hipótese é que a avaliação do esforço percebido desempenha um papel importante no ritmo autosselecionado, o que está de acordo com o modelo psicobiológico de desempenho de resistência recentemente proposto por Marcora (2010) e Pageaux (2014). De fato, foi sugerido que a intensidade do exercício é regulada com base no esforço percebido pelo indivíduo, a fim de garantir que não ocorram perturbações "catastróficas" ou "críticas" à homeostase (Noakes et al., 2001; St. Clair Gibson et al., 2006). Apoiando isso, estudos anteriores mostram que corredores recreativos podem adaptar seu ritmo com dicas verbais a cada quatro segundos, sugerindo que os corredores podem atingir intensidades específicas com feedback guiado (Billat; Brunel; Carbillet et al., 2018).

Do ponto de vista prático, essas descobertas podem subsidiar estratégias de treinamento para otimizar a autorregulação, como sessões de corrida ritmada ou ajustar a intensidade do exercício por meio de microvariações. Ajustar a calibração do esforço pode aumentar a habilidade dos corredores de responder eficazmente ao estresse fisiológico, refinando, em última análise, sua autorregulação e performance (Haile et al., 2012; Krause et al., 2024).

Corredores relataram níveis de esforço de aproximadamente 5 u.a. a 70% $VO_{2máx}$ e 6 u.a. a 80% $VO_{2máx}$ na escala OMNI-RPE, diferenciando com precisão o esforço para ajustar seu esforço acima e abaixo dos testes de JND. No entanto, a variabilidade do RPE foi mínima (<1,2 u.a.), refletindo a sensibilidade limitada da escala para capturar mudanças perceptuais sutis próximas ao estado estacionário máximo ou ao melhor desempenho pessoal. A incorporação de uma métrica de desempenho como a velocidade pode aprimorar a abordagem VO_2 -JND.

Uma consideração importante em relação ao estudo, é que forçar os atletas a adotarem uma determinada carga de trabalho, mesmo que apenas por um curto período de um evento, pode, por si só, influenciar o desempenho geral e conseqüentemente, a sua percepção subjetiva de esforço. De fato, a escolha ou a antecipação da oportunidade de escolha, tem sido associada ao aumento da atividade de regiões cerebrais diretamente envolvidas no processamento de recompensas e, portanto, tem sido considerada um importante regulador, por exemplo, da aprendizagem. Assim, forçar os atletas a adotar um determinado perfil de ritmo pode remover a auto escolha, dando-lhes menos controle sobre a situação e influenciando o desempenho e a motivação, alterando seu foco atencional e resultando na predominância do controle cognitivo reativo em vez do proativo (Skorski e Abbiss, 2017).

Comparações das velocidades finais de estímulo padrão e JND-B mostraram valores quase idênticos em 70%VO_{2máx} (SS=3,52 m·s⁻¹; JND-B_End=3,51 m·s⁻¹) e 80%VO_{2máx} (SS=3,87 m·s⁻¹; JND-B_End=3,86 m·s⁻¹), sugerindo que, mesmo após um período de recuperação, os corredores podem reconhecer a demanda fisiológica de uma velocidade padrão e autorregular seu ritmo para atingir JND acima ou abaixo desse padrão continuamente. A avaliação da relação entre a habilidade de acuidade perceptual (ou seja, mudanças em %VO₂-JND) e o desempenho revelou pequenas variações na velocidade em 70%VO_{2máx} (0,15 m·s⁻¹) e 80%VO_{2máx} (0,13 m·s⁻¹). Para um corredor de 10 km com ritmo de 3:00 min·km⁻¹, manter uma microvariação de 0,13 m·s⁻¹ a 80% do VO_{2máx} poderia melhorar o desempenho em 3,0%, reduzindo o tempo de corrida em 2,6% (~50,68 segundos). Isso destaca a vantagem potencial de aprimorar a autorregulação para manter o desempenho ideal.

O estudo de Billat et al. (2022) demonstra que em uma corrida de resistência como a maratona, a PSE, que agora é amplamente familiar para treinadores e cada vez mais para atletas de resistência, pode ser recomendada como um modelo de controle de desempenho. A influência do tempo e da distância restante para completar, que depende da velocidade em cada instante, influenciará o ritmo também acordo com as variáveis fisiológicas candidatas ao papel de controladores de feedback negativo. Individualmente, o modelo de desempenho, como o padrão de produção de energia durante o exercício em ritmo próprio, demonstrou ser robusto e regulado de forma antecipatória.

A percepção do estado interno do corpo, desempenha um papel crucial no bem-estar físico, cognitivo, emocional e social, sintetizando a resposta global do organismo ao exercício, funcionando como um sensor central da intensidade percebida. Conforme Tucker (2009), a PSE foi proposta para representar a ligação psicofisiológica entre a sensação subjetiva de esforço e as alterações fisiológicas que ocorrem durante o exercício, desempenhando um papel fundamental no sistema de proteção regulatória.

6 CONCLUSÃO

Este estudo revelou tendências entre corredores masculinos competitivos e bem treinados: (1) a magnitude das alterações no VO_2 diminuiu à medida que o SS aumentou de 70% do $VO_{2máx}$ para 80% do $VO_{2máx}$; (2) os corredores perceberam alterações na demanda psicofisiológica mais rapidamente em intensidades mais altas (80% do $VO_{2máx}$); e (3) o tempo para detectar mínima variação foi menor durante as sessões JND-B em comparação com as sessões JND-A em 70% do $VO_{2máx}$ e 80% do $VO_{2máx}$.

Os resultados indicam que corredores treinados apresentam uma notável habilidade de autorregulação da intensidade do exercício, ajustando o esforço com base na percepção subjetiva (PSE) e em sinais interoceptivos associados à cinética do VO_2 . A estabilização rápida do consumo de oxigênio e a ausência de diferenças significativas entre as sessões de JND sugerem que o controle da intensidade ocorre por meio de um mecanismo integrado entre percepção e metabolismo, que visa manter a homeostase e otimizar o desempenho.

A acuidade perceptiva mostrou-se sensível ao aumento da intensidade, refletindo uma maior precisão na interpretação dos sinais corporais em corredores bem treinados, possivelmente mediada por maior eficiência neural e integração sensorial no córtex insular. Esse refinamento interoceptivo permite ajustes automáticos na intensidade antes que a fadiga periférica limite o desempenho, reforçando a importância da PSE como variável reguladora central no exercício de resistência.

De uma perspectiva prática, essas descobertas destacam o papel crítico da habilidade de acuidade perceptiva em permitir que os corredores façam microajustes precisos no esforço — um determinante-chave da autorregulação e do desempenho eficazes. Estratégias de treinamento baseadas em microvariações de intensidade e no aprimoramento da percepção do esforço podem melhorar a autorregulação, a tolerância ao estresse fisiológico e, conseqüentemente, o desempenho de corredores competitivo.

REFERÊNCIAS

- ALBALADEJO-GARCÍA, C.; LLORENS, F.; SANTOS, J. V. et al. Executive functions in sport and exercise: a systematic review. *Frontiers in Psychology*, v. 14, p. e1123456, 2023.
- BERTUZZI R.; LIMA-SILVA A.E.; PIRES F.O. et al. Pacing strategy determinants during a 10-km running time trial: contributions of perceived effort, physiological, and muscular parameters. *J Strength Cond Res*, v.28, p. 1688-1696, 2014.
- BIGLIASSI M.; FILHO E. Functional significance of the dorsolateral prefrontal cortex during exhaustive exercise. *Biol Psychol*, v. 175, p. e108442, 2022.
- BIGLIASSI M. Neural basis of attentional focus during endurance exercise. *Int Rev Sport Exerc Psychol*, v. 14, p. 74-101, 2021.
- BILLAT, V. L. et al. Pacing strategy affects the sub-elite marathoner's cardiac drift and performance. *Frontiers in Psychology*, v. 10, p. 3026, 2020.
- BILLAT, V. L. et al. Oxygen uptake measurements and rate of perceived exertion during a marathon. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 19, p. 5760, 2022.
- BILLAT V. L.; BRUNEL NJ-B; CARBILLET T. et al. Humans are able to self-paced constant running accelerations until exhaustion. *Physica A*, v. 506, p. 290-304, 2018.
- BOMPA T.O.; BUZZICHELLI, C. Periodização: teoria e metodologia do treinamento. 6. ed. São Paulo: Phorte, 2019.
- BORG, G. A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.
- BORG, G. A. V. Borg's perceived exertion and pain scales. *Champaign, IL: Human Kinetics*, 1998.
- CHEN, W. G. et al. The emerging science of interoception: sensing, integrating, interpreting, and regulating signals within the self. *Trends in Neurosciences*, v. 44, p. 3-16, 2021.
- CRAIG, A.D. Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Curr. Opin. Neurobiol*, v. 13, p. 500-505, 2003.
- DOHERTY, C; KEOGH, A; SMYTH, B. et al. Devising a pace-based definition for 'the wall': na observational analysis of marathoners' subjective experiences of fatigue. *J Athl Train*, v. 55, p. 494-500, 2020.
- DIETRICH, A.; SPARLING, P. B. Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain and Cognition*, v. 55, p. 516-524, 2004.

FURRER, R.; HAWLEY, J. A.; HANDSCHIN, C. The molecular athlete: exercise physiology from mechanisms to medals. *Physiological Reviews*, v. 103, p. 1693-1787, 2023.

HAILE, L. et al. Just noticeable difference in perception of physical exertion during cycle exercise in young adult men and women. *European Journal of Applied Physiology*, v. 113, n. 4, p. 875–885, 2012.

HAGYARD, J. Executive Function Expertise in Sport: a meta-analytic review. Dissertação (Mestrado) — York St John University, York, 2019. Disponível em: <https://ray.yorks.ac.uk/id/eprint/4478/>. Acesso em: 12 jul. 2025.

KRAUSE, M. P. et al. The use of a just noticeable difference approach to improve perceptual acuity ability in male runners. *Perceptual and Motor Skills*, v. 131, p. 1025-1438, 2024.

KRAUSE, M. P. et al. Perceptual Acuity Ability Applied for Endurance Runners: The Validity of a Just Noticeable Difference Approach. *Perceptual and Motor Skills*, v. 132, p. 789-814, 2025.

MARCORA, S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscle, heart and lungs. *Journal of Applied Physiology*, v. 106, p. 2060-2062, 2008.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

NOBLE, B. J.; ROBERTSON, R. J. Perceived exertion. *Champaign: Human Kinetics*, 1996.

NOAKES, T. D. Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 36, n. 1, p. 23-35, 2011.

NOAKES, T. D. et al. Evidence that the central nervous system regulates human exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, v. 99, n. 6, p. 2295-2300, 2005.

PALACIN, F. et al. A pilot study using entropy for optimizing self-pacing during a marathon. *Entropy*, v. 25, p. 1119, 2023.

PLOUIN, A. et al. Physiological determinants of maximal oxygen uptake: new insights from respiratory muscle loading in humans. *European Journal of Applied Physiology*, v. 118, n. 5, p. 1007-1018, 2018.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2017.

ROBERTSON, R. J. Development of the perceived exertion knowledge base: An interdisciplinary process. *International Journal of Sport Psychology*, v. 32, p. 189-196, 2001.

ROBERTSON, R. J. Perceived exertion for practitioners: rating effort with the OMNI Picture system. *Champaign: Human Kinetics*, 2004.

ROBERTSON, R. J.; NOBLE, B. J. Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, v. 25, p. 407-452, 1997.

SCHOLLER, V. et al. Neural Efficiency and Ability to Produce Accurate Efforts in Different Perceived Intensity Zones. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, v. 46, p. 335-345, 2021.

SCHMIEDL A.; SCHULTE E-M.; Kauffeld S. The demands-buffering role of perceived and received social support for perceived stress and cortisol levels. *Eur J Health Psychol*, v. 29, p. 175-186, 2022.

SMIRL, J. D. et al. The role of cerebral blood flow in the regulation of $VO_{2\max}$: a review. *Sports Medicine*, v. 45, n. 5, p. 641-656, 2015.

SKOSRKI, S.; ABBIS, C.R. The manipulation of pace within Endurance sport. *Front Physiol*, v.8, p. 102, 2017.

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

UTTER, A. C. et al. Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 36, n. 10, p. 1776-1780, 2004.

VAN HOOREN, B. et al. The Relationship Between Running Biomechanics and Running Economy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine*, v. 54, p. 1269-1316, 2024.

WALMANN-JONES et al. Physical activity and interoceptive processing: Theoretical considerations for future research. *International Journal of Sport Psychophysiology*, v. 166, p. 38-49, 2021.

WEINBERG, R. S.; GOULD, D. Fundamentos da psicologia do esporte e do exercício. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ZIMMERMAN, B. J. Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. San Diego, CA: Academic Press, p. 13-39, 2000.