www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/10ms5825

Efeitos da suplementação com beterraba (*Beta vulgaris* L.) na recuperação muscular em praticantes de exercício físico

Effects of beetroot (*Beta vulgaris* L.) supplementation on muscle recovery in individuals engaged in physical exercise

Larissa Carcute de Mendonça

Thatiane Zarth Leão Martins

Yara Lúcia Marques Maia (Orientadora)

RESUMO

A recuperação muscular após o exercício físico constitui um processo importante para a manutenção do desempenho, especialmente diante de esforços intensos que podem provocar dor muscular, redução da força e alterações funcionais transitórias. Nesse contexto, a beterraba (*Beta vulgaris* L.) tem despertado interesse na Nutrição Esportiva devido à presença de compostos bioativos, como nitratos, betalaínas e compostos fenólicos, potencialmente associados à recuperação muscular. O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos da suplementação com beterraba na recuperação muscular após o exercício físico em indivíduos fisicamente ativos e atletas. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, realizada a partir de buscas nas bases PubMed e SciELO Brasil, considerando estudos publicados entre 2015 e 2026. Foram identificados 185 registros, dos quais 13 estudos experimentais atenderam aos critérios de elegibilidade. Os resultados indicaram efeitos favoráveis da suplementação sobre determinados indicadores de recuperação da força e da função muscular, especialmente em testes de salto, além da redução da dor muscular em alguns protocolos. Entretanto, esses benefícios não foram uniformes entre os estudos, enquanto os efeitos sobre marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo foram menos consistentes. A heterogeneidade das intervenções e dos protocolos de exercício, associada aos tamanhos amostrais reduzidos, dificultou a comparação dos resultados. Conclui-se que a suplementação com beterraba apresenta potencial como estratégia nutricional complementar para a recuperação muscular, embora ainda sejam necessárias evidências mais consistentes para estabelecer recomendações específicas quanto à sua utilização.

Palavras-chave: beterraba; recuperação muscular; suplementação nutricional; dor muscular; exercício físico.

ABSTRACT

Muscle recovery after physical exercise is an important process for maintaining performance, particularly following intense physical exertion, which may cause muscle soreness, reduced strength, and temporary functional impairments. In this context, beetroot (*Beta vulgaris* L.) has attracted interest in Sports Nutrition due to its bioactive compounds, including nitrates, betalains, and phenolic compounds, which may contribute to muscle recovery. This study aimed to analyze the effects of beetroot supplementation on post-exercise muscle recovery in physically active individuals and athletes. An integrative literature review with a qualitative, descriptive-analytical approach was conducted using the PubMed and SciELO Brazil databases, considering studies published between 2015 and 2026. A total of 185 records were identified, of which 13 experimental studies met the eligibility criteria. The findings indicated beneficial effects of supplementation on certain indicators of muscle strength and functional recovery, particularly in jump performance tests, as well as reduced muscle soreness in some exercise protocols. However, these benefits were not consistent across studies, while the effects on biochemical markers of muscle damage, inflammation, and oxidative stress were less conclusive. Heterogeneity in supplementation strategies and exercise protocols, along with small sample sizes, limited the comparability of findings. It is concluded that beetroot supplementation shows potential as a complementary nutritional strategy for muscle recovery, although more robust evidence is needed to establish specific recommendations for its use.

Keywords: beetroot; muscle recovery; nutritional supplementation; muscle soreness; physical exercise.

1 INTRODUÇÃO

A prática regular de exercício físico constitui uma estratégia amplamente recomendada para a promoção da saúde, prevenção de doenças crônicas e melhora da qualidade de vida, além de contribuir para o desempenho físico e funcional (Brasil, 2021; Pedersen e Saltin, 2015). Entretanto, exercícios de alta intensidade, elevado volume ou com predominância de contrações excêntricas podem provocar alterações musculares transitórias, como redução da força, dor muscular de início tardio (delayed onset muscle soreness – DOMS), edema e prejuízo temporário do desempenho físico. Quando exacerbadas, essas respostas podem comprometer a recuperação muscular e o desempenho em sessões subsequentes (Proske e Morgan, 2001; Owens et al., 2019).

O dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) também envolve respostas fisiológicas secundárias, como o estresse oxidativo e a inflamação aguda, que podem contribuir para alterações celulares e intensificar o dano muscular. Por outro lado, esses processos desempenham funções importantes no reparo tecidual e nas adaptações ao treinamento, não devendo ser interpretados exclusivamente como prejudiciais (Powers e Jackson, 2008; Owens et al., 2019). Nesse contexto, a recuperação muscular assume particular relevância para atletas e praticantes de exercício físico, especialmente quando submetidos a sessões de treinamento ou competições com intervalos reduzidos de recuperação.

Diante desses desafios fisiológicos, cresce o interesse por estratégias nutricionais que possam auxiliar na recuperação pós-exercício, favorecendo o restabelecimento da função muscular e a redução do desconforto associado ao esforço. Entre essas estratégias, destacam-se os alimentos com compostos bioativos de potencial antioxidante e anti-inflamatório, investigados por seus possíveis efeitos sobre os processos envolvidos no DMIE (O'Connor, Mündel e Barnes, 2022). A beterraba (*Beta vulgaris* L.), por sua vez, tem recebido atenção no campo da Nutrição Esportiva, tanto por seus efeitos relacionados ao desempenho físico quanto por sua possível contribuição para a recuperação muscular (Clifford et al., 2015; RojanoOrtega et al., 2022).

Tradicionalmente, o interesse científico pela beterraba esteve associado ao elevado teor de nitrato inorgânico, que participa da via nitrato–nitrito–óxido nítrico,

relacionada à regulação vascular e à eficiência do exercício. Contudo, sua composição também inclui compostos fenólicos e betalaínas, que apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias descritas na literatura experimental (Clifford et al., 2015; Nirmal et al., 2023).

Além dos efeitos ergogênicos, estudos clínicos passaram a investigar os efeitos da suplementação com beterraba sobre a recuperação da força e da função muscular, dor muscular tardia e os marcadores bioquímicos de dano muscular. Algumas investigações identificaram resultados favoráveis em determinados indicadores funcionais e perceptivos, enquanto outras não observaram benefícios significativos em todos os desfechos avaliados (Clifford et al., 2016a; 2016b; Daab et al., 2021).

Apesar dos resultados promissores, as evidências disponíveis ainda apresentam limitações. Revisões anteriores identificaram benefícios em determinados indicadores de dor muscular e recuperação funcional, mas resultados menos consistentes para marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo (Rojano-Ortega et al., 2022; Jones et al., 2022). A heterogeneidade das intervenções, dos protocolos de exercício e dos períodos de avaliação dificulta a comparação entre os estudos e o estabelecimento de recomendações específicas. Além disso, a contribuição de compostos bioativos distintos do nitrato, especialmente as betalaínas, permanece insuficientemente esclarecida na recuperação muscular em humanos.

Diante dessas lacunas, justifica-se a realização de uma revisão integrativa da literatura que reúna e analise criticamente as evidências disponíveis sobre os efeitos da suplementação com beterraba (*Beta vulgaris* L.) na recuperação muscular após o exercício físico. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar esses efeitos em indivíduos fisicamente ativos e atletas, considerando a recuperação da força e da função muscular, a dor muscular de início tardio e os marcadores de dano muscular, além da inflamação e do estresse oxidativo como desfechos complementares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Exercício físico, dano muscular e dor muscular tardia

O exercício físico pode ser compreendido como uma prática corporal planejada, estruturada e repetitiva, que visa promover adaptações fisiológicas, melhorar a aptidão

física e proporcionar benefícios à saúde (Caspersen, Powell e Christenson, 1985). No entanto, exercícios de intensidade ou volume elevados, predominância de contrações excêntricas ou de forma não habitual, podem representar um estressor significativo ao tecido muscular (Sousa, Teixeira e Soares, 2014).

As adaptações ao exercício dependem do equilíbrio entre estímulo e recuperação, e o treinamento, quando adequadamente planejado, favorece o desenvolvimento da força, resistência e eficiência neuromuscular (Powers e Howley, 2017). Entretanto, quando a sobrecarga ultrapassa a capacidade de recuperação do organismo, pode ocorrer o dano muscular induzido pelo exercício (DMIE; do inglês, *exercise-induced muscle damage* – EIMD), caracterizado por alterações estruturais e funcionais transitórias nas fibras musculares, acompanhadas por dor, redução da força, inflamação, edema e prejuízo temporário do desempenho físico (Owens *et al*., 2019; Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Clarkson e Hubal, 2002).

Entre os diferentes tipos de contração muscular, as excêntricas são as mais associadas ao dano muscular, pois o músculo produz força enquanto se alonga, como ocorre em aterrissagens, corridas em declive e na fase de descida de exercícios resistidos (Clarkson e Hubal, 2002). Embora apresentem menor custo energético que as contrações concêntricas, impõem maior tensão mecânica às fibras musculares, favorecendo microlesões estruturais, especialmente quando realizadas de forma intensa ou por indivíduos não adaptados (Proske e Morgan, 2001; Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Proske e Allen, 2005).

O DMIE envolve uma fase inicial de dano primário, predominantemente mecânico, seguida por uma fase secundária associada a eventos inflamatórios e oxidativos. Na fase primária, podem ocorrer desorganização miofibrilar, desalinhamento dos sarcômeros, alterações no sarcolema e comprometimento do acoplamento excitação-contração, contribuindo para a perda aguda de força após o esforço (Owens *et al.*, 2019; Clarkson e Hubal, 2002).

Uma explicação para o dano mecânico é a hipótese da não uniformidade sarcomérica. Durante o alongamento ativo, alguns sarcômeros podem se alongar excessivamente, comprometendo a organização das estruturas contráteis e a integridade da fibra muscular (Proske e Allen, 2005). Além da disrupção sarcomérica, alterações no acoplamento excitação-contração podem comprometer a regulação intracelular do cálcio e reduzir a eficiência contrátil. Assim, a perda de força não

decorre exclusivamente do dano estrutural, mas também de alterações funcionais na fibra muscular (Proske e Morgan, 2001; Owens *et al.*, 2019).

A redução da força muscular é considerada um dos indicadores indiretos mais sensíveis do DMIE. Após exercícios excêntricos, essa redução pode corresponder a 15% e 60% dos valores basais e persistir por vários dias, dependendo das características do exercício e do nível de treinamento do indivíduo. Esse comprometimento pode prejudicar o desempenho em sessões subsequentes (Clarkson e Hubal, 2002; Owens *et al*., 2019).

Entre as manifestações mais conhecidas do DMIE, destaca-se a dor muscular de início tardio (*delayed onset muscle soreness* – DOMS), caracterizada por dor, sensibilidade à palpação ou ao movimento e rigidez muscular, especialmente após exercícios intensos ou não habituais com predominância de contrações excêntricas.
A DOMS geralmente surge entre 8 e 24 horas após o exercício, atinge seu pico entre 24 e 48 horas e tende a desaparecer em até 96 horas. Entretanto, em situações de maior comprometimento muscular, pode persistir por 5 a 7 dias (Armstrong, 1984; Owens *et al*., 2019; Cheung, Hume e Maxwell, 2003).

Embora a DOMS seja utilizada como indicador subjetivo da recuperação muscular, sua intensidade não reflete necessariamente a magnitude do dano estrutural (Owens *et al.*, 2019). Sua fisiopatologia é complexa e multifatorial, envolvendo microlesões musculares, alterações no cálcio intracelular, edema, sensibilização de nociceptores e resposta inflamatória local. Como seus mecanismos ainda não foram completamente esclarecidos, a DOMS deve ser interpretada em conjunto com indicadores funcionais e bioquímicos da recuperação muscular (Armstrong, 1984; Cheung, Hume e Maxwell, 2003).

Além dos indicadores funcionais e perceptivos, a creatina quinase (CK) pode apresentar elevação após o exercício, sendo utilizada como marcador indireto de dano muscular, embora seus níveis nem sempre apresentem relação direta com a magnitude do comprometimento funcional (Owens *et al*., 2019; Clarkson e Hubal, 2002). Apesar de seus efeitos negativos agudos, o dano muscular também pode integrar os processos de reparo e adaptação ao treinamento. Contudo, quando excessivo, pode comprometer a recuperação e prejudicar o desempenho em sessões subsequentes (Sousa, Teixeira e Soares, 2014).

2.2 Estresse oxidativo e inflamação induzidos pelo exercício físico

Após o dano mecânico inicial provocado pelo exercício físico, especialmente pelas contrações excêntricas, ocorrem respostas fisiológicas secundárias, como o estresse oxidativo e a inflamação aguda. Embora esses processos participem da recuperação e da adaptação muscular, quando exacerbados, podem contribuir para o agravamento do dano secundário, aumento do desconforto muscular e atraso na recuperação da função contrátil (Owens *et al*., 2019; Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Clemente-Suárez *et al*., 2023).

O estresse oxidativo caracteriza-se pelo desequilíbrio entre a produção de agentes oxidantes e a capacidade de defesa antioxidante do organismo (Powers e Jackson, 2008). Durante o exercício, especialmente quando intenso ou prolongado, o aumento da atividade metabólica muscular favorece a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Quando produzidas em excesso em relação à capacidade antioxidante, essas espécies podem provocar danos oxidativos a lipídios, proteínas e estruturas celulares, comprometendo a integridade muscular e potencialmente interferindo na recuperação pós-exercício (Peternelj e Coombes, 2011; ClementeSuárez *et al*., 2023).

A produção de espécies reativas durante o exercício possui diferentes origens celulares, envolvendo tanto a atividade mitocondrial quanto sistemas enzimáticos, como a NADPH oxidase e a xantina oxidase. Essas vias podem atuar simultaneamente, especialmente durante esforços intensos, contribuindo para o aumento da produção de oxidantes no tecido muscular (Powers e Jackson, 2008; Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Clemente-Suárez *et al*., 2023).

As espécies reativas, entretanto, não exercem apenas efeitos prejudiciais. Em concentrações fisiológicas, desempenham importante papel na sinalização celular, participando de adaptações ao treinamento, como biogênese mitocondrial, remodelação muscular e fortalecimento das defesas antioxidantes endógenas. Quando produzidas em excesso, porém, podem contribuir para alterações na função contrátil e redução da capacidade de produzir força. Dessa forma, seus efeitos dependem da magnitude da produção e do contexto fisiológico (Powers *et al*., 2016; Peternelj e Coombes, 2011; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

Entre as células envolvidas na resposta inflamatória, destacam-se os neutrófilos e os macrófagos. Os neutrófilos são recrutados nas fases iniciais do dano muscular, participando da remoção de estruturas danificadas, mas também podendo contribuir para o dano secundário por meio da liberação de espécies reativas e enzimas proteolíticas (Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Tidball, 2005). Posteriormente, os macrófagos desempenham funções relacionadas à remoção de detritos celulares e à regeneração muscular, apresentando inicialmente características próinflamatórias e, em fases posteriores, perfis associados ao reparo tecidual (Chazaud, 2016; Nirmal *et al*., 2023).

A resposta inflamatória também envolve a liberação de mediadores como o fator de necrose tumoral alfa (TNF-α), a interleucina 1 beta (IL-1β) e a interleucina 6 (IL-6), que participam da comunicação entre as células imunes e o tecido muscular. Esses mediadores contribuem para a regulação do processo inflamatório e da regeneração, mas sua produção excessiva ou prolongada pode interferir na recuperação muscular (Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Owens *et al*., 2019; Chazaud, 2016). A proteína C-reativa (PCR), por sua vez, é utilizada como marcador sistêmico da resposta inflamatória, embora suas concentrações não reflitam necessariamente a intensidade da inflamação no tecido muscular.

O estresse oxidativo e a inflamação estão interligados, uma vez que as espécies reativas podem participar da ativação de vias inflamatórias, enquanto as células imunes recrutadas também contribuem para sua produção. Embora a exacerbação desses processos possa intensificar o dano muscular secundário, ambos desempenham funções importantes no reparo e nas adaptações ao treinamento. Por isso, sua supressão indiscriminada não é necessariamente desejável, sendo mais adequado considerar sua modulação equilibrada (Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Powers *et al*., 2016; Peternelj e Coombes, 2011).

2.3 Beterraba (*Beta vulgaris* L.) como alimento funcional

O crescente interesse por estratégias nutricionais naturais no contexto da saúde e do desempenho esportivo tem ampliado as pesquisas sobre alimentos com propriedades funcionais. Nesse cenário, a beterraba (*Beta vulgaris L*.) destaca-se pela presença de compostos bioativos associados a processos fisiológicos relacionados à

perfusão tecidual, ao metabolismo energético e à homeostase celular, despertando interesse por suas possíveis aplicações na Nutrição Esportiva (Clifford *et al*., 2015; Nirmal *et al*., 2023).

Os alimentos funcionais são aqueles que, além de suas funções nutricionais básicas, apresentam componentes bioativos capazes de promover efeitos fisiológicos benéficos ao organismo, contribuindo para a manutenção da saúde e prevenção de agravos (Diplock *et al*., 1999). Nessa perspectiva, a beterraba apresenta características de interesse funcional devido à sua composição, associada a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, vasculares e potencialmente ergogênicas (Clifford *et al*., 2015; Martinez *et al*., 2024).

A beterraba (*Beta vulgaris L*.), pertencente à família *Amaranthaceae*, é consumida tanto na forma *in natura* quanto em preparações culinárias, sucos, concentrados e suplementos alimentares (Georgiev *et al*., 2010). Seu interesse na Nutrição Esportiva está relacionado principalmente ao elevado teor de nitrato inorgânico, associado à produção de óxido nítrico e à modulação da função vascular e do desempenho físico (Ormsbee, Lox e Arciero, 2013). Entretanto, sua composição também inclui compostos fenólicos e pigmentos betalânicos, que contribuem para seu potencial funcional (Clifford *et al*., 2015; Chen *et al*., 2021).

A suplementação com beterraba tem sido investigada por seus possíveis efeitos ergogênicos, incluindo melhora da tolerância ao esforço e redução do custo de oxigênio durante exercícios submáximos (Domínguez *et al*., 2017; 2018). Mais recentemente, o interesse científico também passou a contemplar sua possível contribuição para a recuperação muscular após o exercício, especialmente em relação à dor muscular e à recuperação da função neuromuscular. Essa investigação está relacionada à presença de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, especialmente as betalaínas, embora seus benefícios sobre a recuperação muscular ainda não estejam plenamente estabelecidos em humanos (Clifford *et al*., 2015; Nirmal *et al*., 2023; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

2.4 Principais compostos bioativos da beterraba

Entre os principais compostos bioativos presentes na beterraba, destacam-se os nitratos inorgânicos, os compostos fenólicos e as betalaínas, que apresentam

diferentes propriedades fisiológicas e têm sido investigados por suas possíveis aplicações na Nutrição Esportiva (Clifford *et al*., 2015; Nirmal *et al*., 2023).

2.4.1 Nitratos

Entre os compostos bioativos da beterraba, os nitratos inorgânicos (NO_3^-) são os mais amplamente estudados no campo da Nutrição Esportiva. O interesse científico por esse componente decorre, principalmente, de sua participação na via nitrato–nitrito–óxido nítrico, reconhecida por sua relevância na regulação vascular, no metabolismo muscular e na eficiência do exercício (Lidder e Webb, 2013; Clifford *et al*., 2015; Milton-Laskibar, Martinez e Portillo, 2021).

Após a ingestão, o nitrato presente na beterraba é absorvido no trato gastrointestinal e parte dele entra no ciclo entero-salivar, no qual microrganismos da cavidade oral reduzem o nitrato a nitrito (NO_2^-). Em seguida, especialmente em condições de menor tensão de oxigênio e pH reduzido, o nitrito pode ser convertido em óxido nítrico (NO). Essa via alternativa de geração de NO apresenta relevância fisiológica, sobretudo em situações nas quais a via enzimática mediada pela óxido nítrico sintase pode estar limitada (Lidder e Webb, 2013; Weitzberg e Lundberg, 2013).

O óxido nítrico exerce papel importante na fisiologia do exercício, participando da vasodilatação, da regulação do fluxo sanguíneo e da perfusão tecidual. Evidências também sugerem possíveis efeitos sobre a eficiência mitocondrial, o custo de oxigênio durante o esforço e a contratilidade muscular (Domínguez *et al*., 2017; McMahon, Leveritt e Pavey, 2017). No contexto da recuperação muscular, esses mecanismos fornecem plausibilidade fisiológica para investigar os efeitos do nitrato após o exercício. Entretanto, os benefícios ergogênicos desse composto não devem ser interpretados como evidência direta de recuperação muscular, uma vez que sua contribuição específica para a recuperação da força, da dor e dos marcadores bioquímicos ainda não está estabelecida (Rojano-Ortega *et al*., 2022).

2.4.2 Compostos fenólicos

Além do nitrato, a beterraba contém uma variedade de compostos fenólicos, que contribuem para seu perfil funcional (Clifford *et al*., 2015). Esses compostos

apresentam propriedades antioxidantes, podendo neutralizar espécies reativas e influenciar sistemas biológicos envolvidos no equilíbrio redox. Sua presença amplia o potencial antioxidante da matriz alimentar e fornece plausibilidade biológica para possíveis efeitos relacionados à modulação do estresse oxidativo e da inflamação (Ninfali e Angelino, 2013; Chen *et al*., 2021).

Os polifenóis podem atuar tanto de forma direta, neutralizando espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, quanto indireta, influenciando vias de sinalização relacionadas à defesa antioxidante endógena. Esses mecanismos despertam interesse no contexto do exercício físico, especialmente diante do aumento da produção de espécies reativas após esforços intensos. Entretanto, ainda não é possível determinar a contribuição isolada dos compostos fenólicos da beterraba para a redução do dano muscular ou para a recuperação funcional, uma vez que o alimento contém diferentes constituintes bioativos (Powers e Jackson, 2008; Owens *et al*., 2019).

Outro aspecto importante é a variabilidade na composição e na concentração dos compostos fenólicos, que podem ser influenciadas pela cultivar, pelo processamento e pelas condições de armazenamento da beterraba (Koss-Mikołajczyk *et al*., 2019). Além disso, sua presença em associação com nitratos e betalaínas reforça a importância de considerar a matriz alimentar como um todo, embora ainda não seja possível estabelecer se essas interações produzem benefícios adicionais sobre a recuperação muscular (Clifford *et al*., 2015; Chen *et al*., 2021).

2.4.3 Betalaínas

As betalaínas constituem um dos principais grupos de compostos bioativos da beterraba. São pigmentos hidrossolúveis nitrogenados, derivados do ácido betalâmico, responsáveis pela coloração característica do vegetal (Ninfali e Angelino, 2013; Esatbeyoglu *et al*., 2014).

As betalaínas são classificadas em dois grupos: betacianinas, responsáveis pelas tonalidades vermelho-violeta, e betaxantinas, associadas às tonalidades amarelo-alaranjadas. Na beterraba, a betanina é a principal betacianina, enquanto as vulgaxantinas estão entre as betaxantinas presentes no vegetal. A composição e a concentração desses pigmentos podem variar conforme a cultivar, o processamento

e as condições de armazenamento, influenciando suas propriedades biológicas (Martinez *et al.*, 2024; Esatbeyoglu *et al*., 2015; Nirmal *et al*., 2023).

O interesse pelas betalaínas aumentou nos últimos anos devido ao reconhecimento de sua capacidade antioxidante. Estudos *in vitro* e investigações experimentais demonstram que esses pigmentos, especialmente a betanina, podem neutralizar espécies reativas e reduzir processos relacionados ao dano oxidativo celular. Essa atividade fornece plausibilidade biológica para investigar sua possível participação na modulação do estresse oxidativo associado ao exercício físico, embora não comprove benefícios diretos sobre a recuperação muscular em humanos (Esatbeyoglu *et al*., 2014; Khan, 2016; Nirmal *et al*., 2023).

Além da ação antioxidante direta, evidências experimentais sugerem que a betanina pode influenciar vias celulares relacionadas à defesa antioxidante endógena, como o Nrf2 (*nuclear factor erythroid 2-related factor 2*), responsável pela regulação da expressão de genes antioxidantes. De maneira semelhante, a literatura também aponta sua possível atuação sobre mecanismos inflamatórios associados ao NF-κB (*nuclear factor kappa B*), envolvido na regulação de mediadores como TNF-α e IL-6. Esses mecanismos sugerem potencial para a modulação das respostas oxidativas e inflamatórias, mas ainda não foram demonstrados como responsáveis pelos efeitos da suplementação com beterraba sobre a recuperação muscular após o exercício (Khan, 2016; Esatbeyoglu *et al*., 2015; Rahimi *et al*., 2019; Nirmal *et al*., 2023).

Outro aspecto investigado refere-se à possível influência das betalaínas sobre enzimas envolvidas na resposta inflamatória, como a ciclooxigenase (COX) e a lipoxigenase (LOX). Essas propriedades têm sido discutidas como possíveis mecanismos relacionados à modulação da dor muscular, embora os resultados experimentais não permitam estabelecer que sejam responsáveis pelos benefícios observados em ensaios clínicos (Vidal *et al*., 2014; Nirmal *et al*., 2023).

As betalaínas também podem atuar em associação com outros compostos bioativos presentes na matriz alimentar da beterraba, como nitratos e polifenóis. Entretanto, a possibilidade de interações entre esses constituintes não comprova efeitos sinérgicos sobre a recuperação muscular. Além disso, fatores como absorção, metabolismo e biodisponibilidade devem ser considerados na interpretação dos resultados experimentais. Assim, embora as propriedades antioxidantes e antiinflamatórias das betalaínas forneçam fundamentação para sua investigação no

contexto esportivo, sua contribuição específica para a recuperação muscular em humanos ainda não está estabelecida (Clifford *et al*., 2015; Esatbeyoglu *et al*., 2015; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

2.5 Evidências científicas sobre o uso da beterraba na recuperação muscular pós-exercício

Nos últimos anos, a literatura científica passou a investigar a beterraba não apenas pelos efeitos ergogênicos associados ao nitrato, mas também por sua possível contribuição para a recuperação muscular após exercícios intensos. As investigações passaram a considerar desfechos como dor muscular de início tardio, recuperação da força e da função muscular, além de indicadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo (Clifford *et al*., 2015; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

A revisão sistemática de Rojano-Ortega *et al.* (2022) identificou resultados promissores para determinadas medidas de dor muscular e recuperação funcional, mas observou inconsistências nos marcadores bioquímicos. De maneira semelhante, Jones *et al.* (2022), em revisão sistemática com meta-análise, identificaram benefícios em alguns indicadores funcionais e perceptivos, sem demonstrar efeitos consistentes sobre todos os desfechos avaliados.

Entretanto, os estudos apresentam diferenças importantes quanto à composição dos produtos, às doses utilizadas, à duração da suplementação e aos protocolos de exercício. Os efeitos observados sobre o desempenho durante o esforço não correspondem necessariamente à melhora da recuperação muscular após o exercício, o que exige cautela na interpretação dos resultados (Rojano-Ortega *et al*., 2022; Jones *et al*., 2022).

Persistem, portanto, lacunas relacionadas à padronização das intervenções, aos períodos de avaliação e à identificação dos compostos bioativos responsáveis pelos possíveis benefícios. A distinção entre respostas perceptivas, funcionais e bioquímicas, assim como entre evidências experimentais e resultados obtidos em humanos, reforça a necessidade de investigar criticamente os efeitos da suplementação com beterraba sobre a recuperação muscular pós-exercício (RojanoOrtega *et al*., 2022; Nirmal *et al*., 2023).

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento do estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, destinada a reunir, avaliar e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre os efeitos da suplementação com beterraba (*Beta vulgaris L*.) na recuperação muscular em praticantes de exercício físico. A condução da revisão compreendeu as etapas de definição da questão norteadora, estabelecimento dos critérios de elegibilidade, elaboração e execução da estratégia de busca, identificação dos registros, triagem por título e resumo, avaliação dos textos completos, extração padronizada dos dados e síntese qualitativa dos resultados.

3.2 Questão norteadora

A questão norteadora foi definida como: quais são os efeitos da suplementação com beterraba (*Beta vulgaris L*.) na recuperação muscular após o exercício físico em indivíduos fisicamente ativos e atletas? Foram considerados como desfechos principais a recuperação da força e da função muscular, a dor muscular de início tardio (DOMS) e os marcadores de dano muscular. A resposta inflamatória e o estresse oxidativo associados ao processo de recuperação muscular foram considerados desfechos complementares.

3.3 Fontes de informação, período e estratégia de busca

As buscas foram executadas nas bases de dados U.S. National Library of Medicine (PubMed) e Scientific Electronic Library Online (SciELO Brasil). A estratégia foi construída a partir de três blocos conceituais: (1) beterraba e seus derivados/compostos; (2) exercício, treinamento, esporte e atletas; e (3) recuperação, dano muscular, dor, fadiga, inflamação, estresse oxidativo e marcadores associados. Foram considerados estudos publicados entre 2015 e 2026.

No PubMed, a estratégia final utilizada foi: (*beetroot* OR "*beetroot juice*" OR "*Beta vulgaris*" OR *betalain**) AND (*exercise* OR *athlete** OR *sport** OR *training*) AND (*recover** OR "*muscle recovery*" OR "*muscle damage*" OR "*exercise-induced muscle damage*" OR "*muscle soreness*" OR DOMS OR *fatigue* OR "*oxidative stress*" OR *inflamm** OR "*creatine kinase*" OR "*lactate dehydrogenase*" OR "*muscle oxygenation*"). Essa busca recuperou 185 registros (n=185).

Na SciELO Brasil, foi aplicada uma expressão equivalente, incorporando termos em inglês e português relacionados aos três blocos conceituais. A busca completa não recuperou documentos (n=0). Foram realizadas também tentativas de busca na LILACS/BVS, porém a consulta não pôde ser concluída em razão de indisponibilidade técnica da plataforma durante as tentativas de acesso. Assim, somente PubMed/MEDLINE e SciELO Brasil foram contabilizadas no processo de identificação dos registros.

3.4 Critérios de inclusão

Foram incluídos artigos científicos originais, de delineamento experimental, realizados em seres humanos, publicados entre 2015 e 2026, em português ou inglês, envolvendo indivíduos fisicamente ativos ou atletas. A intervenção deveria utilizar beterraba (*Beta vulgaris L.)* ou seus derivados, como suco, extrato, gel, pó ou concentrado, incluindo produtos padronizados em nitrato ou betalaínas, desde que os efeitos investigados pudessem ser atribuídos à beterraba ou ao derivado utilizado.

Para inclusão, os estudos deveriam apresentar pelo menos um desfecho diretamente relacionado à recuperação muscular após o exercício físico, como DOMS, recuperação da força, potência, função ou desempenho muscular, ou marcadores bioquímicos de dano muscular avaliados no período pós-exercício. A resposta inflamatória e o estresse oxidativo foram considerados desfechos complementares quando investigados no contexto da recuperação muscular.

3.5 Critérios de exclusão

Foram excluídos artigos de revisão, revisões sistemáticas, meta-análises, editoriais, protocolos, cartas, estudos *in vitro* e estudos realizados em animais.

Também foram excluídos estudos observacionais sem intervenção experimental controlada, pesquisas envolvendo populações incompatíveis com a questão norteadora e estudos sem relação com a prática de exercício físico.

Em relação às intervenções, foram excluídos estudos que utilizaram exclusivamente nitrato ou outros compostos isolados sem participação da beterraba, bem como aqueles que empregaram formulações multicomponentes nas quais não fosse possível distinguir os efeitos atribuíveis à beterraba ou aos seus derivados.

Quanto aos desfechos avaliados, foram excluídos estudos direcionados exclusivamente à melhora do desempenho físico durante o exercício, sem avaliação posterior da recuperação muscular, bem como aqueles restritos à investigação da fadiga muscular aguda, sem acompanhamento da recuperação da função muscular. Também foram excluídos estudos que avaliaram exclusivamente respostas cardiovasculares, autonômicas, hemodinâmicas ou metabólicas imediatas, sem apresentar desfechos diretamente relacionados à recuperação muscular. Da mesma forma, estudos que investigaram marcadores inflamatórios ou de estresse oxidativo sem associação com o processo de recuperação muscular após o exercício não foram considerados elegíveis.

3.6 Seleção dos estudos

Os 185 registros identificados no PubMed foram exportados em formato CSV e organizados em planilha eletrônica para a triagem. Inicialmente, realizou-se a conferência dos registros e a verificação de duplicidades por PMID e DOI, não sendo identificadas duplicatas. A busca realizada na SciELO Brasil não recuperou registros adicionais.

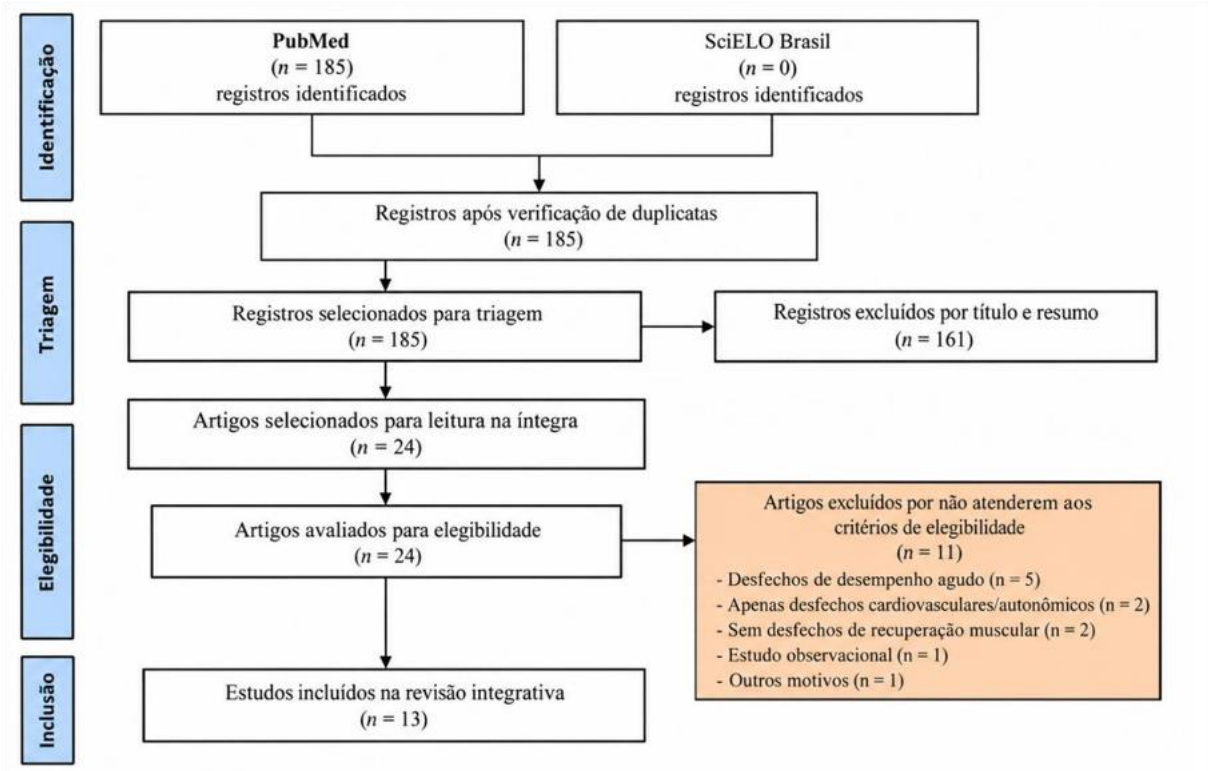
Na primeira etapa, os 185 registros foram avaliados por título e resumo, conforme os critérios de elegibilidade estabelecidos. Nessa fase, 161 registros foram excluídos e 24 artigos foram selecionados para avaliação em texto completo.

Na etapa de elegibilidade, os 24 artigos foram examinados quanto ao delineamento, às características da população, à composição e à dose da intervenção, ao protocolo de exercício, ao período de acompanhamento e aos desfechos avaliados. Após a avaliação inicial, os critérios foram refinados para delimitar a recuperação muscular como foco principal da revisão, sendo aplicados novamente aos textos

completos. Ao final desse processo, 11 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade, e 13 estudos constituíram a amostra final da revisão integrativa.

O processo de identificação, triagem, avaliação de elegibilidade e inclusão dos estudos está apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de identificação, seleção e inclusão dos estudos na revisão integrativa



Fonte: elaborado pelas autoras (2026), adaptado de Page *et al.* (2021).

3.7 Extração e organização dos dados

Após a definição da amostra final, foi utilizada uma matriz padronizada de extração. Para cada estudo foram registrados: autor e ano; características e tamanho da amostra; delineamento; intervenção e comparador; forma de apresentação da beterraba; dose e concentração de nitrato ou betalaínas, quando informadas; duração e momento da suplementação; protocolo de exercício; período de acompanhamento; desfechos avaliados; principais resultados; e conclusão. A extração foi realizada a partir dos textos completos, preservando resultados estatisticamente significativos e não significativos.

3.8 Síntese e análise dos resultados

Devido à heterogeneidade entre os estudos quanto às características da população, composição e dose dos produtos, duração da suplementação, modalidade de exercício, momento das avaliações e instrumentos utilizados, os resultados foram submetidos à síntese descritiva e análise qualitativa. Para facilitar a interpretação, os achados foram organizados por domínios de desfechos, incluindo recuperação da força e função muscular, DOMS, marcadores bioquímicos de dano muscular e, como desfechos complementares, indicadores de inflamação e estresse oxidativo associados à recuperação pós-exercício.

Também foram considerados os diferentes períodos de avaliação da recuperação muscular. Os estudos que investigaram a recuperação funcional nos primeiros minutos após o exercício foram analisados separadamente daqueles que acompanharam a recuperação por períodos mais prolongados, como 24, 48 ou 72 horas, evitando equiparar respostas funcionais imediatas aos processos de recuperação muscular tardia. A síntese contemplou tanto os resultados estatisticamente significativos quanto aqueles que não apresentaram diferenças significativas entre as condições experimentais, permitindo uma interpretação abrangente e crítica das evidências disponíveis.

4 RESULTADOS

4.1 Características dos estudos incluídos

Os 13 estudos incluídos foram publicados entre 2016 e 2025 e apresentaram diversidade quanto às características dos participantes, delineamentos experimentais, formas de apresentação da beterraba, protocolos de suplementação, modalidades de exercício e períodos utilizados para avaliação da recuperação. Apesar dessa heterogeneidade, predominou a utilização de delineamentos experimentais randomizados, duplo-cegos e controlados por placebo, incluindo estudos com grupos paralelos e estudos cruzados (*crossover*).

As populações investigadas compreenderam indivíduos fisicamente ativos, praticantes recreacionais de exercício e atletas de diferentes modalidades esportivas.

Foram estudados, entre outros, jogadores de futebol, jogadores de voleibol, triatletas, corredores, montanhistas, esquiadores e praticantes de esportes de combate. A composição das amostras também apresentou variação entre os estudos, com predominância de participantes do sexo masculino, embora algumas investigações tenham incluído mulheres ou amostras de ambos os sexos. Daneshparvar *et al.* (2025), por exemplo, avaliaram 27 montanhistas experientes, sendo 14 homens e 13 mulheres. Montenegro *et al.* (2017), por sua vez, incluíram na análise final 22 triatletas competitivos, dos quais 13 eram mulheres e 9 homens. Já Hemmatinafar *et al*. (2023) investigaram exclusivamente atletas do sexo feminino, com uma amostra final de 12 jogadoras de voleibol semiprofissionais.

Também foi observada ampla variação nas estratégias de suplementação. A maior parte dos estudos utilizou suco de beterraba rico em nitrato, administrado antes e/ou após o protocolo de exercício. Entretanto, foram identificadas outras formas de intervenção, incluindo pó e gel de beterraba, além de concentrados de beterraba ricos em betalaínas. Salem *et al.* (2025), por exemplo, utilizaram 15 g diários de pó de beterraba, correspondentes a 450 mg ou 7,26 mmol de nitrato. Em contraste, Montenegro *et al*. (2017) investigaram um concentrado de beterraba rico em betalaínas e sem nitrato, permitindo avaliar a possível contribuição de outros compostos bioativos da matriz alimentar.

Os protocolos de exercício também foram heterogêneos, incluindo exercícios excêntricos destinados a induzir dano muscular, testes de *sprints* repetidos, treinamento resistido, corrida, maratona, protocolos específicos de futebol, escalada em altitude e exercícios exaustivos de preensão manual. Clifford *et al.* (2016b), por exemplo, utilizaram um protocolo de 100 saltos em profundidade (*drop jumps*) para induzir dano muscular, com avaliações realizadas até 72 horas após o exercício. Daab *et al.* (2021), por sua vez, empregaram o *Loughborough Intermittent Shuttle Test* (LIST), destinado a simular as demandas físicas de uma partida de futebol, também acompanhando a recuperação por até 72 horas. Em contrapartida, de Oliveira *et al.* (2020) investigaram a recuperação da força de preensão manual apenas 20 minutos após um protocolo de exercício rítmico de preensão manual (*Hand grip*) até a fadiga. Dessa forma, os períodos utilizados para avaliar a recuperação variaram desde os primeiros minutos após o esforço até 72 horas, aspecto relevante para a interpretação conjunta dos resultados.

Os principais desfechos investigados compreenderam recuperação da força e da função muscular, salto vertical, desempenho físico, dor muscular de início tardio, limiar de dor por pressão, edema muscular, creatina quinase (CK), lactato desidrogenase (LDH), proteína C-reativa (PCR), citocinas inflamatórias, indicadores de estresse oxidativo e indicadores funcionais precoces. As características metodológicas e os principais resultados dos estudos estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Características metodológicas e principais resultados dos estudos incluídos na revisão integrativa

Autor/ano	Amostra e desenho	Intervenção e dose	Protocolo de exercício	Desfechos avaliados	Principais resultados
Salem *et al.*, 2025	11 homens fisicamente ativos; experiência em treinamento resistido (≥3 sessões/semana por ≥6 semanas). Ensaio randomizado, duplo-cego, cruzado, placebo-controlado.	Pó de beterraba (*Beta vulgaris*) dissolvido em bebida placebo sem nitrato *versus* placebo; suplementação por 3 dias. **Dose:** 15 g/dia de pó de beterraba = 450 mg (7,26 mmol) de NO_3^-/dia. Dia 1: 15 g, 2 h antes da sessão; dias seguintes: 3 × 5 g/dia; dose final 2 h antes da segunda sessão, 72 h depois.	Duas sessões de treinamento resistido separadas por 72 h: supino e agachamento a 60%, 70% e 80% de 1RM até a falha, com 3 min de intervalo.	Repetições até a falha de supino e agachamento; velocidade e potência; FC, SmO_2, lactato; recuperação por CMJ, SJ e DOMS de membros superiores e inferiores no pós, 24 h, 48 h e antes/depois da 2ª sessão.	A suplementação favoreceu a recuperação do CMJ em 24 e 48 horas e antes da segunda sessão (72 horas), além do SJ em 24 e 48 horas. A DOMS dos membros superiores foi menor em 24 e 48 horas, enquanto a dos membros inferiores apresentou redução antes da segunda sessão. Também foram observadas maior velocidade de execução, maior número de repetições em determinadas intensidades, maior oxigenação muscular e menor frequência cardíaca durante o exercício.
Ahmadpour *et al.*, 2024	10 esquiadores alpinos homens, experientes; ≥5 anos em provas FIS/nacionais. Ensaio randomizado, duplo-cego, placebo-controlado, cruzado; washout (intervalo) de 7 dias.	Suco de beterraba (BRJ) *versus* placebo, ingerido antes dos testes em altitude. **Dose:** 220 mL de BRJ contendo ~8,9 mmol de nitrato; placebo <0,5 mmol. Ingestão ~2,5 h antes do exercício.	Testes funcionais (box jump de 90 s, Hex Jump e wall-sit), seguidos de duas descidas de slalom em condição de altitude moderada/alta; RPE após as descidas.	Desempenho nos testes funcionais e slalom, RPE e dor muscular por VAS em 12, 24 e 48 h.	BRJ melhorou *wall-sit* e *box jump* e reduziu RPE, tempo no Hex Jump e dor muscular. O tempo do slalom foi 1,74% menor, porém sem diferença estatística.
Montenegro *et al.*, 2017	22 triatletas competitivos (9 homens e 13 mulheres). Ensaio randomizado, duplo-cego, cruzado, placebo-controlado.	Concentrado de beterraba rico em betalaínas (BRC), sem açúcares e sem nitrato, *versus* placebo. **Dose:** 100 mg/dia de BRC por 6 dias; no 7º dia, 50 mg 120 min antes do exercício. Cápsula de 50 mg continha ~12,5 mg de betalaínas.	40 min de ciclismo a 75 ± 5% do VO_2máx + corrida contrarrelógio de 10 km; 24 h depois, corrida de 5 km para avaliar recuperação.	Tempo nos 10 km e 5 km, CK, marcadores de dano muscular, dor muscular, fadiga subjetiva, FC e RPE.	O BRC reduziu o tempo da corrida de 10 km e da corrida de 5 km realizada 24 horas depois. A elevação da CK foi menor imediatamente após os 10 km, mas não houve diferença significativa após 24 horas. O aumento da fadiga foi menor em 24 horas, enquanto a dor muscular e a LDH não apresentaram diferenças significativas entre as condições.
Daneshparvar *et al.*, 2025	27 montanhistas experientes (14 homens, 13 mulheres); ≥10 anos de experiência acima de 3.500 m; 3 grupos de n=9. Ensaio randomizado, duplo-cego, placebo-controlado, grupos paralelos (BRJ, placebo e controle).	*Beet It Sport® versus* placebo isocalórico *versus* água, antes de uma escalada em altitude. **Dose:** 70 mL de BRJ contendo 400 mg de nitrato, ingeridos 2,5 h antes da escalada.	Subida de ~2.850 a 3.720 m (10 km) e descida de 10 km, ~9,5 h totais; testes funcionais e de força antes e após; DOMS monitorada até 72 h.	DOMS em quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmio; limiar de dor por pressão (PPT), edema de coxa, força isocinética/isométrica, salto horizontal, *wall-sit*, preensão manual, flexibilidade e VO_2máx estimado.	O suco de beterraba reduziu a DOMS no gastrocnêmio em 24 horas em comparação ao controle, mas não ao placebo, sem diferenças significativas para quadríceps e isquiotibiais. Após 72 horas, foram observados maiores valores de força de preensão manual, torque de flexão do joelho e potência média de extensão em comparação ao placebo. O salto horizontal foi superior ao placebo durante a avaliação em altitude. Não houve diferenças significativas para edema da coxa. A flexibilidade foi superior à do grupo controle após 72 horas, mas não diferiu significativamente do placebo.
Daab *et al.*, 2021	13 jogadores de futebol semiprofissionais, homens. Ensaio randomizado, duplo-	Suco de beterraba rico em nitrato *versus* placebo isocalórico por 7 dias.	*Loughborough Intermittent Shuttle Test (LIST),*	SJ, CMJ, MVC de quadríceps, sprint de 20 m, CK, LDH, CRP e DOMS.	A suplementação atenuou a redução do desempenho no CMJ em 24 e 48 horas, da MVC dos extensores do joelho imediatamente após o

Autor/ano	Amostra e desenho	Intervenção e dose	Protocolo de exercício	Desfechos avaliados	Principais resultados
	cego, cruzado, placebo-controlado; washout de (intervalo) 7 dias.	**Dose:** 150 mL, 2 vezes/dia, por 7 dias; o artigo reporta 250 mg/dia de nitrato.	simulando uma partida de futebol; avaliações pré, imediatamente após, 24, 48 e 72 h.		exercício e em 24 e 48 horas, e do *sprint* de 20 m em 48 horas. A DOMS foi menor imediatamente e 24 horas após o exercício. Não foram observadas diferenças significativas entre as condições para SJ, CK, LDH e PCR.
Clifford *et al.*, 2017 c	29 homens recreacionalmente ativos; H-BT n=10, L-BT n=9 e placebo n=10. Ensaio duplo-cego, grupos independentes, placebo-controlado; avaliação do efeito do exercício repetido.	Suco de beterraba rico em antioxidantes em dose alta ou baixa após a primeira sessão; nenhuma bebida após a segunda sessão. **Dose:** H-BT: 250 mL por porção; L-BT: 125 mL por porção; placebo: 250 mL. Suplementação durante 3 dias após a primeira sessão.	Duas sessões de 100 *drop jumps* (salto com queda), separados por 14–21 dias.	MIVC, CMJ, PPT e CK antes, imediatamente após, 24, 48 e 72 h após cada sessão.	Houve efeito de exercício repetido em todos os grupos: recuperação mais rápida de MIVC e CMJ, e menor CK na 2ª sessão. Não houve diferenças entre grupos que indicassem prejuízo da adaptação pelo suco de beterraba.
Hemmatinafar *et al.*, 2023	12 jogadoras de voleibol semiprofissionais analisadas (14 recrutadas; 2 retiradas por desconforto gastrointestinal): BRJ n=6, PLA n=6. Ensaio randomizado, duplo-cego, cruzado; washout (intervalo) de 30 dias.	Suco de beterraba *versus* placebo durante as 48 h após dano muscular induzido pelo exercício (EIMD). **Dose:** 400 mL em 2 dias: 8 porções de 50 mL em 2, 6, 10, 14, 26, 30, 34 e 38 h pós-EIMD; BRJ reportado com 4,1 mmol/L de nitrato.	Protocolo de EIMD (200 saltos verticais com coletes com peso) seguido de monitoramento de recuperação até 48 h.	*Wall-sit* (agachamento isométrico contra parede), teste de flexibilidade, teste de altura de salto vertical, PPT, edema de coxa; dor muscular por VAS em 12, 24 e 48 h.	BRJ melhorou o *wall-sit* (agachamento isométrico contra parede) e reduziu edema de coxa e dor muscular percebida após EIMD. Não houve diferença significativa para salto vertical, teste de flexibilidade ou PPT.
Clifford *et al.*, 2016 b	30 homens recreacionalmente ativos, distribuídos em dose alta, dose baixa e placebo. Ensaio duplo-cego, grupos independentes, placebo-controlado.	Suco de beterraba em dose alta ou baixa versus placebo após exercício excêntrico. **Dose:** Dose alta: 250 mL por porção; dose baixa: 125 mL por porção. Suplementação no pós-exercício e durante 48 h de recuperação (3 dias de suplementação).	100 *drop jumps* (salto em profundidade) para induzir dano muscular; avaliações pré, pós, 24, 48 e 72 h.	MIVC, CMJ, PPT/dor, CK e citocinas inflamatórias (IL-6, IL-8, TNF-α).	A dose alta acelerou a recuperação do CMJ em 48 h e 72 h. PPT foi maior com as doses de beterraba em 24–72 h. MIVC, CK e citocinas não diferiram.
Clifford *et al.*, 2017 b	34 corredores experientes, com média aproximada de 16 maratonas prévias: BRJ n=17, PLA n=17. Ensaio duplo-cego, grupos independentes, placebo-controlado.	Suco de beterraba *versus* placebo isocalórico durante 3 dias após uma maratona. **Dose:** 250 mL por garrafa; cada garrafa continha ~210 mg de nitrato, ~400 mg de fenólicos e ~194 mg de betanina. Foram 3 garrafas no dia da maratona, 3 no dia 1 e 1 no dia 2.	Maratona de 42 km; avaliações antes, imediatamente após e nos 2 dias seguintes.	MIVC, CMJ, dor muscular, IL-6, IL-8, TNF-α, leucócitos, CK, hs-CRP e AST.	Não houve diferenças entre BRJ e placebo na recuperação de MIVC, CMJ, dor muscular, citocinas, CK, hs-CRP ou AST. A dor retornou ao basal até o 2º dia em ambos os grupos.
Clifford *et al.*, 2017 a	30 homens recreacionalmente ativos: BRJ n=10, nitrato de sódio n=10, placebo n=10. Ensaio duplo-cego, grupos	Suco de beterraba *versus* bebida com nitrato de sódio equivalente em nitrato versus placebo isocalórico.	100 *drop jumps* (salto em queda); avaliações pré,	MIVC, CMJ, PPT/dor muscular, CK, hs-CRP e óxido nítrico sérico.	PPT foi menos reduzido com BRJ que com nitrato de sódio e placebo; em 72 h: 104 ± 26% do basal com BRJ, 94 ± 16% com nitrato e 91 ± 19% com

Autor/ano	Amostra e desenho	Intervenção e dose	Protocolo de exercício	Desfechos avaliados	Principais resultados
	independentes, placebo-controlado.	Dose: 250 mL por dose. BRJ: ~210 mg de nitrato; nitrato de sódio: dose equivalente (~210 mg de nitrato; 287 mg de $NaNO_3$). Ingestão imediatamente, 24 e 48 h pós-exercício.	imediatamente após, 24, 48 e 72 h.		placebo. Não houve diferenças para MIVC, CMJ ou CK; hs-CRP não mudou.
Clifford *et al.*, 2016 a	20 jogadores homens de esportes coletivos (atletas treinados): BRJ n=10, PLA n=10. Ensaio randomizado, duplo-cego, grupos independentes, placebo-controlado.	Suco de beterraba *versus* placebo isocalórico durante a recuperação entre dois testes de sprints repetidos. **Dose:** 2 × 250 mL/dia por 3 dias após o primeiro teste de *sprint*; suplementação também após o segundo teste conforme protocolo (após 30 min).	Teste de *Sprint* 1 (RST1): 20 × 30 m; Teste de *Sprint* 2 (RST2) realizado 72 h depois.	MIVC, CMJ, índice de força reativa (RI), PPT, CK, hs-CRP, carbonilas proteicas, hidroperóxidos lipídicos e radical ascorbil; desempenho de *sprint*.	CMJ e índice de força reativa (RI) recuperaram mais rapidamente: em 72 h foram 7,6% e 13,8% maiores, respectivamente, com BRJ *versus* placebo. PPT foi 10,4% maior 24 h após RST2. Não houve efeito no *sprint*, MIVC ou biomarcadores de estresse oxidativo/inflamação.
Cuenca *et al.*, 2018	15 homens jovens treinados em resistência. Ensaio randomizado, duplo-cego, cruzado, placebo-controlado; sessões separadas por 72 h.	70 mL suco de beterraba rico em nitrato versus placebo, 3 h antes do teste. **Dose:** 70 mL em dose aguda, ~6,4 mmol de nitrato.	*Wingate all-out* de 30 s a toda velocidade (*sprint* na bicicleta); CMJ e lactato antes, 30 s e 180 s após.	Potência pico e média, tempo até potência pico, índice de fadiga, CMJ e lactato pós-exercício.	BRJ aumentou potência pico e potência média e reduziu tempo até pico. Não houve diferença entre condições na recuperação do CMJ ou índice de fadiga.
de Oliveira *et al.*, 2020	14 homens praticantes recreacionais de esportes de combate. Ensaio randomizado, duplo-cego, cruzado, placebo-controlado.	Gel de beterraba rico em nitrato versus gel depletado de nitrato. **Dose:** 100 g de gel de beterraba contendo 12,2 mmol de nitrato; placebo ~0,2 mmol; ingestão 120 min antes.	Três séries de *Hand grip* rítmico a 40% da MVC até a fadiga, com 60 s de recuperação entre séries.	MVC de preensão antes e 20 min após, tempo até fadiga, SmO_2 e volume sanguíneo muscular por NIRS.	A variação da MVC após 20 min de recuperação foi significativamente melhor com o gel de beterraba, indicando menor perda/recuperação mais rápida de força. Não houve efeito em tempo até fadiga, SmO_2 ou volume sanguíneo.

Fonte: elaborado pelas autoras (2026), a partir dos estudos incluídos.

Legenda: 1RM = uma repetição máxima; **AST** = aspartato aminotransferase; **BRC** = concentrado de beterraba rico em betalaínas; **BRJ** = suco de beterraba; **CK** = creatina quinase; **CMJ** = salto com contramovimento; **CRP/PCR** = proteína C-reativa; **DOMS** = dor muscular de início tardio; **EIMD** = dano muscular induzido pelo exercício; **FC** = frequência cardíaca; **H-BT** = dose elevada de suco de beterraba; **hs-CRP** = proteína C-reativa de alta sensibilidade; **IL-6** = interleucina 6; **IL-8** = interleucina 8; **L-BT** = dose baixa de suco de beterraba; **LDH** = lactato desidrogenase; **LIST** = teste de corrida intermitente de Loughborough; **MIVC** = contração isométrica voluntária máxima; **MVC** = contração voluntária máxima; **NIRS** = espectroscopia no infravermelho próximo; **PLA** = placebo; **PPT** = limiar de dor à pressão; **RI** = índice de força reativa; **RPE** = percepção subjetiva de esforço; **RST** = teste de sprints repetidos; **SJ** = salto em agachamento; **SmO** = saturação de oxigênio muscular; **TNF-α** = fator de necrose tumoral alfa; **VAS** = escala visual analógica; **VO máx** = consumo máximo de oxigênio. **Box jump** = salto sobre caixa; **drop jump** = salto em profundidade; **Hand grip** = exercício de preensão manual; **Hex Jump** = teste de saltos em padrão hexagonal; **wall-sit** = agachamento isométrico contra a parede; **washout** = intervalo entre as intervenções.

4.2 Efeitos da beterraba sobre a recuperação após o exercício

De maneira geral, os resultados dos estudos incluídos demonstraram que os efeitos da suplementação com beterraba sobre a recuperação muscular não foram uniformes entre todos os desfechos avaliados. Os achados favoráveis foram observados principalmente em indicadores de recuperação funcional, percepção de dor muscular e, em alguns estudos, parâmetros fisiológicos de recuperação. Em contrapartida, os efeitos sobre marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo foram menos consistentes.

4.2.1 Recuperação da função e do desempenho muscular

Parte dos estudos identificou recuperação mais favorável de componentes da função muscular após a suplementação com beterraba. Daab *et al.* (2021), em jogadores de futebol submetidos ao *Loughborough Intermittent Shuttle Test (LIST)*, protocolo que simula as demandas físicas de uma partida de futebol, observaram que a redução do desempenho no salto com contramovimento (CMJ) foi atenuada em 24 e 48 horas após o exercício no grupo suplementado com suco de beterraba. Da mesma forma, a redução da contração voluntária máxima (MVC) dos extensores do joelho foi menor imediatamente após o exercício e em 24 e 48 horas, enquanto a queda no desempenho do *sprint* de 20 m foi atenuada em 48 horas.

No estudo de Clifford *et al.* (2016a), realizado após um protocolo de *sprints* repetidos, os autores verificaram que, após 72 horas de recuperação, o grupo suplementado com suco de beterraba apresentou valores de salto com contramovimento e índice de força reativa (RI) 7,6% e 13,8% superiores aos do grupo placebo, respectivamente. Entretanto, a suplementação não promoveu melhora significativa no desempenho do segundo teste de *sprints* repetidos (RST2), realizado 72 horas após o primeiro, indicando que os benefícios observados na recuperação de determinados parâmetros neuromusculares não se traduziram em melhora do desempenho na sessão subsequente.

Em mulheres atletas, Hemmatinafar *et al.* (2023) observaram melhora da resistência muscular isométrica, avaliada por meio do teste *wall-sit* (agachamento isométrico contra a parede), 48 horas após o dano muscular induzido pelo exercício

(EIMD). Contudo, não foram encontradas diferenças significativas entre a suplementação com suco de beterraba e placebo para altura do salto vertical, flexibilidade dos membros inferiores ou limiar de dor por pressão, indicando que os efeitos não ocorreram de maneira uniforme entre os diferentes indicadores funcionais.

Clifford *et al.* (2016b), por sua vez, investigaram os efeitos da suplementação com suco de beterraba após um protocolo de exercício excêntrico composto por 100 saltos em profundidade (*drop jumps*). Os autores observaram recuperação mais favorável do desempenho no salto com contramovimento em 48 e 72 horas no grupo que recebeu a maior dose de suco de beterraba, em comparação ao placebo. No entanto, não foram identificadas diferenças significativas na recuperação da força isométrica máxima.

Salem *et al*. (2025), em homens fisicamente ativos submetidos a exercícios resistidos, observaram recuperação mais favorável do desempenho no salto com contramovimento em 24 e 48 horas e antes da segunda sessão, realizada 72 horas após a primeira. Resultados semelhantes foram encontrados para o salto em agachamento (SJ), com valores superiores aos do placebo em 24 e 48 horas. Durante os exercícios resistidos, também foram observados benefícios em determinados indicadores de desempenho, como velocidade de execução e número de repetições, embora esses resultados devam ser diferenciados das medidas de recuperação avaliadas após o esforço.

Os estudos realizados em outras modalidades esportivas também apresentaram achados relevantes. Ahmadpour *et al*. (2024), em esquiadores alpinos, observaram melhora do desempenho em testes funcionais, incluindo o *wall-sit* e o *box jump*, embora a redução do tempo de execução do *slalom* não tenha apresentado diferença estatisticamente significativa. Em montanhistas, Daneshparvar *et al*. (2025) também identificaram resultados favoráveis em determinados testes de força e desempenho muscular após exercício em altitude, porém os efeitos não foram uniformes entre os indicadores avaliados. Por sua vez, Montenegro *et al*. (2017), ao investigarem os efeitos de um concentrado de beterraba rico em betalaínas em 22 triatletas competitivos, verificaram melhor desempenho em uma corrida de 5 km realizada 24 horas após o primeiro protocolo, sugerindo benefício sobre a capacidade de desempenho em uma sessão subsequente.

Clifford *et al.* (2017c) também investigaram a recuperação neuromuscular após exercícios excêntricos, utilizando duas sessões de 100 saltos em profundidade, separadas por 14 a 21 dias. Os autores observaram recuperação mais rápida da força isométrica máxima e do salto com contramovimento após a segunda sessão, independentemente da suplementação. Não foram identificadas diferenças entre os grupos que indicassem interferência negativa do suco de beterraba sobre a adaptação protetora decorrente da repetição do exercício.

Entretanto, os efeitos favoráveis sobre a recuperação funcional não foram observados em todos os protocolos experimentais. Clifford *et al*. (2017b), ao investigarem a suplementação com suco de beterraba após uma maratona, não identificaram diferenças significativas em relação ao placebo na recuperação da força isométrica máxima ou do desempenho no salto com contramovimento. De maneira semelhante, Clifford *et al*. (2017a), em estudo que comparou suco de beterraba, nitrato de sódio e placebo após exercício excêntrico, não observaram diferenças significativas entre os grupos na recuperação desses indicadores neuromusculares, apesar dos resultados favoráveis encontrados para o limiar de dor por pressão.

Os resultados referentes à recuperação muscular imediata também apresentaram particularidades. Cuenca *et al.* (2018) investigaram os efeitos da suplementação aguda com suco de beterraba sobre o desempenho e a recuperação neuromuscular após um teste de *Wingate*, caracterizado por um esforço máximo de 30 segundos realizado em bicicleta ergométrica. Os autores observaram aumento da potência pico e da potência média e redução do tempo até o pico. Porém, apesar da melhora desses indicadores de desempenho, não foram identificadas diferenças significativas entre a suplementação com beterraba e o placebo na recuperação do salto com contramovimento, avaliado aos 30 e 180 segundos após o exercício. Esses resultados indicam que os benefícios ergogênicos observados durante o esforço não foram acompanhados por uma recuperação neuromuscular mais rápida nos minutos subsequentes.

Em relação à recuperação funcional imediata, de Oliveira *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da suplementação com gel de beterraba em praticantes recreacionais de esportes de combate, submetidos a um protocolo de exercício de preensão manual até a fadiga. Os autores observaram recuperação mais favorável da contração voluntária máxima após 20 minutos no grupo suplementado, em

comparação ao placebo. Contudo, não foram identificadas diferenças significativas no tempo até a fadiga ou nos parâmetros de oxigenação muscular avaliados, demonstrando que os efeitos da suplementação foram específicos para a recuperação da força muscular.

4.2.2 Dor muscular e DOMS

A redução da dor muscular constituiu um dos achados mais frequentes entre os estudos que demonstraram efeitos favoráveis da suplementação com beterraba. Em jogadores de futebol, Daab *et al.* (2021) encontraram menores valores de dor muscular de início tardio (DOMS) imediatamente e 24 horas após o protocolo de exercício na condição suplementada com suco de beterraba, em comparação ao placebo. Em esquiadores alpinos, Ahmadpour *et al.* (2024) também observaram redução da percepção de dor muscular após a suplementação com suco de beterraba, em comparação ao placebo, com avaliações realizadas em 12, 24 e 48 horas após o exercício em altitude.

De maneira semelhante, Hemmatinafar *et al.* (2023) verificaram redução da percepção de dor muscular e do edema da coxa após dano muscular induzido pelo exercício em jogadoras de voleibol. Entretanto, outros indicadores, como o limiar de dor por pressão, não apresentaram diferenças significativas entre as condições experimentais.

Em montanhistas, Daneshparvar *et al.* (2025) observaram menor DOMS no músculo gastrocnêmio 24 horas após a descida no grupo suplementado com suco de beterraba, em comparação ao grupo controle, mas não ao placebo. Não foram identificadas diferenças significativas para os músculos quadríceps e isquiotibiais, nem para o edema da coxa, indicando que os efeitos não foram uniformes entre os indicadores avaliados. Além disso, o limiar de dor por pressão foi significativamente menor no grupo suplementado em comparação ao placebo após 72 horas, resultado que não indica melhora da tolerância à pressão dolorosa.

Um resultado particularmente relevante foi encontrado por Clifford *et al*. (2017a), que compararam os efeitos do suco de beterraba, do nitrato de sódio em quantidade equivalente de nitrato e do placebo após um protocolo de 100 saltos em profundidade. Os autores observaram recuperação mais favorável do limiar de dor

por pressão no grupo suplementado com suco de beterraba. Após 72 horas, os valores corresponderam a 104 ± 26% do valor basal no grupo beterraba, 94 ± 16% no grupo nitrato de sódio e 91 ± 19% no grupo placebo.

Resultados favoráveis sobre a sensibilidade dolorosa também foram observados por Clifford *et al*. (2016a; 2016b), em protocolos de exercícios de alta intensidade. No estudo com *sprints* repetidos, o grupo suplementado com suco de beterraba apresentou limiar de dor por pressão 10,4% superior ao placebo, 24 horas após o segundo teste de *sprints*. Já no protocolo de exercício excêntrico, os autores identificaram recuperação mais favorável desse indicador entre 24 e 72 horas após o esforço. No mesmo sentido, Salem *et al*. (2025), ao investigarem a suplementação com pó de beterraba após treinamento resistido, observaram menor DOMS nos membros superiores em 24 e 48 horas, enquanto nos membros inferiores a redução foi identificada antes da segunda sessão de exercício, realizada após 72 horas.

Por outro lado, a redução da dor muscular não foi observada em todos os protocolos investigados. Clifford et al. (2017b), ao avaliarem corredores experientes após uma maratona, não identificaram diferenças significativas na percepção de dor muscular entre o grupo suplementado com suco de beterraba e o placebo durante o período de recuperação. Da mesma forma, Montenegro *et al*. (2017), em triatletas competitivos, não observaram diferenças significativas na dor muscular entre a suplementação com concentrado de beterraba rico em betalaínas e o placebo.

4.2.3 Marcadores de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo

Em comparação aos resultados funcionais e perceptivos, os efeitos da suplementação com beterraba sobre os marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo foram menos consistentes entre os estudos analisados.

No estudo de Daab *et al.* (2021), os níveis de creatina quinase (CK), lactato desidrogenase (LDH) e proteína C-reativa (PCR) aumentaram após o protocolo de exercício, porém não foram observadas diferenças significativas entre a condição suplementada com suco de beterraba e o placebo durante o período de recuperação. Assim, apesar da melhora de determinados indicadores de desempenho e da redução

da dor muscular, esses benefícios não foram acompanhados por alterações significativas nos marcadores sanguíneos avaliados.

Em concordância com esses achados, Clifford *et al*. (2016b) também não identificaram diferenças significativas entre os grupos nos níveis de CK ou nas concentrações das citocinas inflamatórias IL-6, IL-8 e TNF-α após um protocolo de exercício excêntrico. De forma semelhante, Clifford *et al*. (2017a), ao compararem suco de beterraba, nitrato de sódio e placebo, não observaram diferenças significativas nos níveis de CK, enquanto a PCR de alta sensibilidade não apresentou alterações relevantes após o protocolo.

Em outro estudo, Clifford *et al.* (2016a) avaliaram marcadores de estresse oxidativo e inflamação após um protocolo de *sprints* repetidos. Apesar da recuperação mais favorável de determinados indicadores neuromusculares, não foram identificados efeitos significativos da suplementação sobre os marcadores bioquímicos investigados, incluindo carbonilas proteicas e hidroperóxidos lipídicos.

Além disso, Clifford *et al.* (2017b), ao investigarem a suplementação com suco de beterraba após uma maratona, não observaram benefícios significativos sobre a recuperação da função muscular, a percepção de dor ou os indicadores inflamatórios avaliados. Também não foram identificadas diferenças relevantes entre os grupos nos níveis de CK e PCR de alta sensibilidade, evidenciando a ausência de efeitos favoráveis da intervenção nesse protocolo de exercício.

Clifford *et al*. (2017c) também avaliaram os níveis de CK após duas sessões de exercício excêntrico, separadas por um intervalo de 14 a 21 dias. Os autores observaram menor resposta desse marcador após a segunda sessão, acompanhada por recuperação mais rápida de determinados indicadores neuromusculares, caracterizando o efeito protetor decorrente da repetição do exercício. Entretanto, não foram identificadas diferenças entre os grupos que demonstrassem efeito específico da suplementação com suco de beterraba sobre essa adaptação.

Em contraste, Montenegro *et al.* (2017), ao investigarem os efeitos de um concentrado de beterraba rico em betalaínas em 22 triatletas competitivos, observaram menor elevação dos níveis de CK imediatamente após a corrida de 10 km em comparação ao placebo. Contudo, essa diferença não permaneceu significativa após 24 horas, e os níveis de LDH não apresentaram diferenças significativas entre as condições experimentais.

4.3 Síntese dos resultados

Considerando os 13 estudos incluídos, os resultados indicaram efeitos favoráveis da suplementação com beterraba sobre determinados componentes da recuperação muscular, especialmente a percepção de dor e alguns indicadores de recuperação da força e da função muscular. Entretanto, esses benefícios não foram observados de forma uniforme entre os diferentes protocolos, uma vez que determinados testes funcionais e avaliações de dor muscular não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. Quanto aos marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo, os resultados foram menos consistentes, com predomínio de estudos que não identificaram diferenças significativas entre a suplementação e as condições controle. Uma exceção foi observada por Montenegro *et al*. (2017), que identificaram menor elevação dos níveis de CK imediatamente após o exercício, sem manutenção da diferença significativa após 24 horas.

Os estudos também apresentaram diferenças quanto à composição dos produtos utilizados, às doses administradas, à duração da suplementação, às modalidades de exercício e aos períodos de acompanhamento. Enquanto algumas investigações avaliaram a recuperação funcional nos primeiros minutos após o esforço, outras acompanharam as alterações musculares durante 24, 48 ou 72 horas. Embora a maioria tenha utilizado suco de beterraba rico em nitrato, também foram investigadas outras formas de suplementação, como pó, gel e concentrado rico em betalaínas. Clifford *et al.* (2017a), por exemplo, observaram uma resposta mais favorável do limiar de dor por pressão com o suco de beterraba em comparação ao nitrato de sódio administrado em quantidade equivalente, sugerindo a possível participação de outros compostos bioativos presentes na beterraba.

Em conjunto, os resultados indicam que os efeitos da suplementação com beterraba variam conforme os desfechos avaliados e as características dos protocolos experimentais. A ocorrência de benefícios em determinados indicadores, sem diferenças significativas em outros, reforça a importância de considerar diferentes medidas na avaliação da recuperação muscular. Dessa forma, as evidências analisadas sugerem possíveis benefícios da suplementação em condições

específicas, mas ainda não demonstram efeitos consistentes sobre todos os componentes da recuperação muscular após o exercício físico.

5 DISCUSSÃO

5.1 Recuperação da função e do desempenho muscular

A recuperação da função muscular constitui um dos principais indicadores utilizados para avaliar as consequências do dano muscular induzido pelo exercício físico, uma vez que a redução temporária da capacidade de produzir força e potência pode comprometer o desempenho em sessões subsequentes de treinamento. Na presente revisão, os resultados demonstraram que a suplementação com beterraba favoreceu determinados parâmetros funcionais, especialmente em testes de salto e em algumas medidas de força muscular. Contudo, esses benefícios não foram observados de maneira uniforme, mesmo entre estudos que utilizaram protocolos semelhantes de exercício e suplementação. Essa variabilidade sugere que a resposta à intervenção pode depender tanto das características do esforço realizado quanto do tipo de avaliação utilizada para acompanhar a recuperação (Owens *et al*., 2019; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

Uma diferença importante foi observada entre os resultados dos testes dinâmicos e das avaliações de força isométrica. Nos estudos de Clifford *et al*. (2016a; 2016b), a suplementação com suco de beterraba favoreceu a recuperação do salto com contramovimento (CMJ) e, no protocolo de *sprints* repetidos, do índice de força reativa, sem apresentar melhora significativa da contração isométrica voluntária máxima (MIVC) dos extensores do joelho. Rojano-Ortega *et al*. (2022) discutem que essa divergência pode estar relacionada às características dos testes utilizados, uma vez que medidas dinâmicas, como o CMJ, envolvem diferentes componentes da função neuromuscular e podem apresentar maior sensibilidade às alterações provocadas pelo exercício. Outra possibilidade levantada pelos autores é que a força isométrica tenha sido menos comprometida pelo protocolo, reduzindo a possibilidade de identificar diferenças entre as condições experimentais.

Entretanto, essa hipótese não significa que a suplementação com beterraba favoreça exclusivamente a recuperação de movimentos dinâmicos. Daab *et al*. (2021), por exemplo, observaram resultados favoráveis tanto na recuperação do CMJ quanto

na MIVC dos extensores do joelho após exercício intermitente simulado de futebol. De maneira semelhante, de Oliveira *et al*. (2020) identificaram recuperação mais favorável da força de preensão manual após 20 minutos, embora não tenham observado benefícios sobre o tempo até a fadiga ou os parâmetros de oxigenação muscular. Esses achados sugerem que os efeitos da suplementação não dependem exclusivamente do tipo de contração avaliada, podendo também variar conforme a musculatura envolvida, as características do esforço e o momento utilizado para avaliar a recuperação (Daab *et al*., 2021; de Oliveira *et al*., 2020).

A ausência de melhora em determinadas tarefas esportivas subsequentes também merece atenção. Clifford *et al*. (2016a) verificaram recuperação mais favorável de indicadores neuromusculares após o primeiro protocolo de *sprints* repetidos, mas esse benefício não se traduziu em melhora significativa do desempenho no segundo teste de *sprints*, realizado 72 horas depois. Esse resultado evidencia que a recuperação de uma medida funcional isolada não implica necessariamente maior capacidade de executar uma atividade esportiva complexa. O desempenho em *sprints* repetidos envolve diferentes exigências neuromusculares e metabólicas, de modo que a melhora de parâmetros como altura do salto ou índice de força reativa pode não ser suficiente para modificar o resultado global da tarefa (Clifford *et al*., 2016a).

Por outro lado, Montenegro *et al*. (2017) observaram melhor desempenho em uma corrida de 5 km realizada 24 horas após o primeiro protocolo, utilizando um concentrado de beterraba rico em betalaínas e livre de nitrato. Esse resultado contrasta com a ausência de melhora no segundo teste de *sprints* observada por Clifford *et al*. (2016a), sugerindo que os efeitos da suplementação sobre o desempenho subsequente podem variar conforme a modalidade de exercício e as características da intervenção. Considerando que os estudos utilizaram produtos, participantes e protocolos distintos, não é possível determinar se a diferença encontrada decorreu da composição bioativa da suplementação ou das particularidades das tarefas avaliadas.

Os estudos realizados em outras modalidades esportivas também apresentaram respostas funcionais heterogêneas. Hemmatinafar *et al*. (2023) identificaram melhora da resistência muscular isométrica em jogadoras de voleibol, sem diferenças significativas na altura do salto vertical. Salem *et al*. (2025), por sua

vez, observaram recuperação mais favorável do CMJ e do salto em agachamento após treinamento resistido. A divergência entre esses achados deve ser interpretada considerando as diferenças entre os protocolos de exercício e os instrumentos de avaliação, que investigam capacidades musculares distintas (Rojano-Ortega et al., 2022). Em atividades realizadas em altitude, Ahmadpour *et al.* (2024) identificaram melhora em determinados testes funcionais realizados antes das descidas de *slalom*, enquanto Daneshparvar *et al.* (2025) observaram resultados favoráveis em medidas específicas de força muscular avaliadas 72 horas após a descida. Essa diferença nos momentos de avaliação reforça a importância de distinguir os efeitos da suplementação sobre o desempenho durante a atividade daqueles relacionados à recuperação muscular após o exercício.

Em contrapartida, os resultados negativos também contribuem para compreender os limites da intervenção. Clifford *et al*. (2017b), ao investigarem corredores experientes após uma maratona, não observaram melhora significativa da recuperação da força isométrica ou do CMJ. Rojano-Ortega *et al*. (2022) discutem que esse resultado pode estar relacionado ao nível de treinamento dos participantes e à magnitude relativamente pequena do dano muscular produzido pela prova. Indivíduos habituados a determinado estímulo podem apresentar adaptações que atenuam a perda funcional após o exercício, reduzindo a possibilidade de identificar benefícios adicionais da suplementação. Contudo, essa explicação permanece hipotética e não permite afirmar que a beterraba seja ineficaz em corredores treinados.

Outro aspecto relevante é o efeito protetor decorrente da repetição do exercício excêntrico, conhecido como *repeated-bout effect*. Clifford *et al*. (2017c) observaram recuperação neuromuscular mais rápida após uma segunda sessão de exercício excêntrico, independentemente da suplementação com beterraba. Esse fenômeno demonstra que a exposição prévia ao mesmo estímulo pode modificar a resposta muscular e favorecer a recuperação subsequente. Assim, a familiaridade com o exercício deve ser considerada na interpretação dos ensaios, especialmente quando diferentes sessões são realizadas pelos mesmos participantes (Proske e Morgan, 2001; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

Em síntese, a beterraba pode favorecer medidas específicas de recuperação funcional, sem necessariamente melhorar o desempenho em uma nova sessão. A

diversidade de testes e protocolos ainda impede definir quais condições apresentam maior probabilidade de benefício.

5.2 Dor muscular e DOMS

A redução da dor muscular constituiu um dos achados mais frequentes entre os estudos que identificaram benefícios da suplementação com beterraba. Ainda assim, esses efeitos não ocorreram de maneira uniforme entre os diferentes protocolos e momentos de avaliação. A DOMS, frequentemente associada ao exercício excêntrico, envolve processos relacionados à sensibilização de terminações nervosas e à resposta inflamatória local. Embora seja uma manifestação comum do dano muscular induzido pelo exercício, sua intensidade não reflete necessariamente a magnitude da lesão ou do comprometimento funcional (Cheung, Hume e Maxwell, 2003; Owens *et al*., 2019).

Uma questão importante para interpretar os resultados é a diferença entre os instrumentos utilizados para avaliar a dor. Enquanto a escala visual analógica (VAS) permite quantificar a intensidade da dor percebida pelo participante, o limiar de dor por pressão (PPT) avalia a pressão mínima necessária para provocar sensação dolorosa. Rojano-Ortega *et al*. (2022) discutem que essas diferenças metodológicas podem contribuir para a divergência entre os estudos. Apesar disso, os resultados da presente revisão demonstram que ambos os instrumentos identificaram respostas favoráveis à suplementação. Clifford *et al*. (2016a; 2016b; 2017a) observaram benefícios no PPT, enquanto Hemmatinafar *et al*. (2023) e Ahmadpour *et al*. (2024) identificaram redução da dor percebida pela VAS. Por outro lado, Hemmatinafar *et al*. (2023) não encontraram diferenças significativas no PPT, apesar da melhora na percepção dolorosa, evidenciando que essas medidas não apresentam necessariamente respostas equivalentes.

As características do exercício e o nível de treinamento dos participantes também podem contribuir para os resultados divergentes. Clifford *et al*. (2017b) não observaram redução significativa da dor após uma maratona, diferentemente dos resultados encontrados em protocolos de exercícios excêntricos e *sprints* repetidos. Os autores sugeriram que a menor magnitude do comprometimento muscular nos corredores experientes poderia ter limitado a identificação de benefícios adicionais da suplementação. Essa interpretação é compatível com a discussão de Rojano-Ortega

et al. (2022), que destaca a influência das características dos participantes e dos protocolos experimentais sobre a recuperação muscular. No estudo de Daneshparvar *et al*. (2025), foi identificada menor DOMS no gastrocnêmio em comparação ao grupo controle, mas não ao placebo, ressaltando a importância de considerar tanto o músculo avaliado quanto a condição utilizada para comparação.

Os mecanismos responsáveis pela possível redução da dor ainda não estão completamente esclarecidos. Após o exercício, a liberação de mediadores como prostaglandinas, bradicinina e fator de crescimento neural pode contribuir para a sensibilização de nociceptores presentes no tecido muscular e conjuntivo (Clifford *et al*., 2016b; 2017a). Nesse contexto, é possível que a suplementação contribua para modular processos inflamatórios locais ou a sensibilidade dos nociceptores, reduzindo a percepção dolorosa sem necessariamente modificar a magnitude do dano muscular. Essa hipótese ajuda a compreender por que estudos como os de Daab *et al*. (2021) e Clifford *et al*. (2016b; 2017a) identificaram benefícios sobre a dor sem alterações correspondentes nos marcadores bioquímicos avaliados. Entretanto, esses mecanismos não foram diretamente demonstrados nos ensaios clínicos.

A composição da beterraba também merece atenção na interpretação desses resultados. Clifford *et al.* (2017a) observaram que o suco de beterraba foi mais eficaz do que o nitrato de sódio em quantidade equivalente para atenuar a sensibilidade dolorosa após exercício excêntrico, sugerindo a possível participação de outros compostos bioativos presentes na matriz alimentar. Entre eles, destacam-se as betalaínas e os compostos fenólicos, cujas propriedades antioxidantes e antiinflamatórias têm sido investigadas como possíveis mecanismos associados à modulação da dor muscular. Estudos experimentais demonstraram que a betanina apresenta atividade antioxidante e pode atuar sobre mecanismos celulares relacionados à resposta ao estresse oxidativo (Esatbeyoglu *et al.*, 2014; 2015). Essa hipótese também é discutida por Daneshparvar *et al.* (2025), que relacionam os possíveis efeitos sobre a dor à presença de fitoquímicos na beterraba. Contudo, como os mecanismos envolvidos não foram avaliados diretamente e a percepção dolorosa apresenta variabilidade individual, ainda não é possível estabelecer se esses benefícios decorrem das propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias dos compostos bioativos ou de outros fatores.

Dessa forma, os resultados sugerem que a suplementação com beterraba pode contribuir para a redução da dor muscular durante a recuperação após o exercício, embora a resposta pareça depender de fatores como o protocolo realizado, o nível de treinamento, o momento da avaliação e o instrumento utilizado. A melhora da percepção dolorosa, mesmo na ausência de alterações significativas dos marcadores bioquímicos, reforça a necessidade de considerar a dor como um componente específico da recuperação muscular, sem interpretá-la isoladamente como evidência de menor dano tecidual.

5.3 Marcadores de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo

Os resultados referentes aos marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo foram menos consistentes quando comparados aos indicadores perceptivos e funcionais. Embora alguns estudos tenham identificado redução da dor muscular e recuperação mais favorável da função neuromuscular, esses benefícios não foram acompanhados por alterações significativas nos marcadores sanguíneos avaliados, como observado por Daab *et al*. (2021) e Clifford *et al*. (2016b; 2017a). Essa divergência pode estar relacionada ao fato de que os indicadores bioquímicos e funcionais representam diferentes aspectos da resposta muscular ao exercício, não apresentando necessariamente a mesma evolução durante a recuperação (Owens *et al*., 2019).

A creatina quinase (CK) e a lactato desidrogenase (LDH) são frequentemente utilizadas como indicadores indiretos de dano muscular, porém apresentam limitações para representar a magnitude da lesão. A CK, especialmente, apresenta elevada variabilidade interindividual, sendo influenciada pelas características do exercício, pelo nível de treinamento e pelo momento da coleta sanguínea (Clarkson e Hubal, 2002; Owens *et al*., 2019). Esses fatores podem contribuir para a ausência de diferenças significativas observada em diversos estudos da presente revisão. Em contrapartida, Montenegro *et al*. (2017), utilizando um concentrado de beterraba rico em betalaínas e formulado sem nitrato, identificaram menor elevação da CK imediatamente após o exercício, embora essa diferença não tenha permanecido significativa após 24 horas. A LDH também não apresentou diferenças significativas entre as condições. Esses achados sugerem que determinados efeitos da suplementação podem ocorrer com

derivados de beterraba sem nitrato declarado, embora não seja possível atribuí-los exclusivamente às betalaínas, uma vez que os mecanismos antioxidantes e anti-inflamatórios não foram avaliados diretamente.

Quanto aos marcadores inflamatórios, a ausência de diferenças significativas nas concentrações de proteína C-reativa (PCR) e citocinas, como IL-6, IL-8 e TNF-α, não significa necessariamente que todos os processos inflamatórios envolvidos na recuperação muscular permaneceram inalterados. A resposta inflamatória após o exercício envolve mecanismos locais e sistêmicos, e as concentrações circulantes desses mediadores podem não refletir integralmente as alterações presentes no tecido muscular. Clifford *et al*. (2016b) discutem essa possibilidade ao observar que o protocolo excêntrico provocou alterações relativamente pequenas nos indicadores inflamatórios sanguíneos, apesar da presença de dor e redução da função muscular. Em contrapartida, Clifford *et al*. (2017b) identificaram uma resposta inflamatória sistêmica após a maratona, com elevação de leucócitos e citocinas, mas sem diferenças significativas entre a suplementação com beterraba e o placebo. Cabe destacar que a inflamação constitui uma resposta fisiológica necessária à remoção de componentes danificados e à regeneração muscular, não devendo ser interpretada exclusivamente como um processo prejudicial (Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Owens *et al*., 2019).

Em relação ao estresse oxidativo, os resultados também não demonstraram benefícios consistentes da suplementação. Clifford *et al*. (2016a), ao avaliarem indicadores como carbonilas proteicas, hidroperóxidos lipídicos e radical ascorbil após exercícios de *sprints* repetidos, não identificaram diferenças significativas entre beterraba e placebo. Os autores também observaram que o protocolo não provocou aumento sistêmico expressivo desses indicadores, o que pode ter limitado a identificação de um possível efeito antioxidante da suplementação. Além disso, não foi possível excluir a ocorrência de alterações oxidativas restritas ao tecido muscular, uma vez que não foram realizadas avaliações diretas nesse tecido. Embora as betalaínas e outros compostos bioativos presentes na beterraba apresentem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias descritas em estudos experimentais, esses efeitos não podem ser diretamente extrapolados para a recuperação muscular em humanos. As espécies reativas de oxigênio também participam da sinalização celular e das adaptações ao exercício, de modo que sua produção não representa

necessariamente um efeito prejudicial (Powers e Jackson, 2008; Peternelj e Coombes, 2011).

A ausência de alterações significativas nos marcadores bioquímicos, mesmo diante de resultados favoráveis para dor e função muscular, evidencia a complexidade dos processos envolvidos na recuperação após o exercício. Os achados da presente revisão são, em grande parte, compatíveis com Rojano-Ortega *et al.* (2022), que também identificaram evidências limitadas de benefícios sobre os indicadores de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo. Assim, embora exista fundamentação experimental para possíveis ações antioxidantes e anti-inflamatórias dos compostos da beterraba, os ensaios clínicos disponíveis ainda não demonstram de maneira consistente que esses mecanismos sejam responsáveis pelos benefícios observados na recuperação muscular.

5.4 Protocolos de suplementação com beterraba

Outro fator que pode contribuir para as diferenças observadas entre os estudos é a heterogeneidade dos protocolos de suplementação. As intervenções incluídas nesta revisão utilizaram diferentes formulações, como suco, gel, pó e concentrados de beterraba, com variações nas doses administradas, na composição dos produtos e na duração da suplementação. Essas diferenças dificultam a comparação direta dos resultados e a identificação de um protocolo mais eficaz para a recuperação muscular.

O momento da ingestão e a duração da suplementação também merece atenção, especialmente quando se distingue o objetivo de melhorar o desempenho durante o exercício daquele de favorecer a recuperação muscular. Estudos com suplementação aguda, como os de Cuenca *et al*. (2018) e de Oliveira *et al*. (2020), avaliaram principalmente respostas funcionais nos primeiros minutos após o esforço, enquanto investigações como as de Clifford *et al*. (2016a; 2016b) e Daab *et al*. (2021) utilizaram protocolos com ingestão repetida e acompanhamento da recuperação por até 72 horas. Nesse sentido, a administração de uma dose exclusivamente antes do exercício pode produzir efeitos diferentes daqueles observados quando a suplementação é mantida durante a recuperação, embora ainda não seja possível estabelecer qual estratégia apresenta maior benefício.

Essa questão também foi discutida por Rojano-Ortega *et al*. (2022), que destacaram a necessidade de investigar protocolos de suplementação mais prolongados e determinar as quantidades de nitrato e outros compostos bioativos necessárias para favorecer a recuperação muscular. De maneira semelhante, Jones *et al*. (2022) identificaram diferenças importantes entre as doses e a duração das intervenções, ressaltando a dificuldade de estabelecer recomendações específicas. A ausência de padronização da composição dos produtos representa outra limitação, pois quantidades semelhantes de suco ou concentrado de beterraba não correspondem necessariamente à mesma exposição aos seus compostos bioativos.

Embora tenham sido observados resultados favoráveis tanto em intervenções agudas quanto em protocolos de vários dias, os estudos avaliaram diferentes desfechos, modalidades de exercício e períodos de acompanhamento. Portanto, não é possível atribuir as divergências exclusivamente à dose ou à duração da suplementação. Com base nas evidências disponíveis, ainda não existe uma dose, um momento de ingestão ou um período de suplementação estabelecido como ideal para favorecer a recuperação muscular após o exercício físico (Rojano-Ortega *et al*., 2022; Jones *et al*., 2022).

5.5 Influência do protocolo de exercício

A modalidade de exercício utilizada constitui outro fator importante para compreender as diferenças encontradas entre os estudos. Protocolos com predominância de contrações excêntricas, como os utilizados por Clifford *et al*. (2016b; 2017a), são frequentemente empregados para induzir dano muscular e acompanhar alterações na força e na percepção de dor durante a recuperação. Nesses estudos, a suplementação com beterraba apresentou resultados favoráveis em determinados indicadores funcionais e de sensibilidade dolorosa. Entretanto, a magnitude do dano provocado, a musculatura envolvida e o nível de treinamento dos participantes podem influenciar a resposta à intervenção (Owens *et al*., 2019; Rojano-Ortega *et al*., 2022).

Em modalidades esportivas, as exigências fisiológicas e mecânicas são mais variadas. No futebol, por exemplo, Daab *et al*. (2021) observaram benefícios na recuperação funcional e na dor muscular após um protocolo intermitente que simulou as demandas de uma partida, enquanto os marcadores bioquímicos não

apresentaram diferenças significativas entre as condições. Por outro lado, Clifford *et al*. (2017b) não identificaram benefícios relevantes após uma maratona, possivelmente devido à menor magnitude do comprometimento muscular observado nos corredores experientes. Essa diferença sugere que o histórico de treinamento e a familiaridade com o exercício podem influenciar a possibilidade de identificar efeitos adicionais da suplementação.

Os protocolos envolvendo exercícios de força e movimentos repetidos de salto também apresentaram resultados específicos. Salem *et al*. (2025) observaram benefícios em determinados indicadores de recuperação muscular, enquanto Hemmatinafar *et al*. (2023), em jogadoras de voleibol submetidas a um protocolo de dano muscular induzido pelo exercício, identificaram melhora da resistência muscular isométrica e da percepção dolorosa, sem efeitos uniformes sobre os demais testes funcionais. Essas diferenças sugerem que as características do exercício e os instrumentos utilizados para avaliar a recuperação devem ser considerados na interpretação dos resultados, uma vez que os estudos investigaram capacidades musculares distintas.

As atividades realizadas em altitude acrescentam a hipóxia como fator de estresse fisiológico. Ahmadpour *et al*. (2024), em esquiadores alpinos, observaram melhora em determinados testes funcionais realizados antes do exercício e redução da dor muscular durante a recuperação. Já Daneshparvar *et al*. (2025), em montanhistas, identificaram menor dor no gastrocnêmio em comparação ao grupo controle, mas não ao placebo, sem benefícios uniformes nos demais músculos avaliados. Essas diferenças nos momentos e instrumentos de avaliação reforçam a necessidade de distinguir os efeitos da suplementação sobre o desempenho físico daqueles relacionados à recuperação muscular após o exercício.

Em conjunto, esses achados indicam que o tipo de esforço e a familiaridade dos participantes com a atividade podem modificar a resposta observada. Também é necessário distinguir avaliações realizadas nos primeiros minutos após o exercício, como em Cuenca *et al*. (2018) e de Oliveira *et al*. (2020), da recuperação acompanhada por 24 a 72 horas.

5.6 Comparação com revisões anteriores

A revisão sistemática de Rojano-Ortega et al. (2022), com nove estudos, encontrou benefícios sobretudo para dor muscular e determinadas medidas funcionais, sem resultados consistentes para dano muscular, inflamação e estresse oxidativo. Esse padrão é semelhante ao observado na presente síntese de 13 ensaios.

Resultados semelhantes foram apresentados por Jones *et al*. (2022), em revisão sistemática com meta-análise que identificou benefícios sobre a recuperação da força isométrica em 72 horas, do salto com contramovimento entre 24 e 72 horas e da dor muscular em determinados momentos da recuperação. Por outro lado, não foram observados efeitos consistentes sobre CK e indicadores de estresse oxidativo. A concordância com a presente revisão sugere que os benefícios da suplementação podem ser mais evidentes em determinados desfechos perceptivos e funcionais do que nos marcadores bioquímicos avaliados.

Uma meta-análise mais recente, realizada por Beba, Dehghani e Gholizadeh (2026), reuniu sete ensaios clínicos randomizados e identificou resultados favoráveis para força isométrica, salto com contramovimento, limiar de dor por pressão e CK, sem diferenças significativas para PCR, IL-6 e TNF-α. A redução da CK contrasta com os resultados predominantemente não significativos encontrados na presente revisão e nas sínteses anteriores. Entretanto, a elevada heterogeneidade observada para alguns desfechos, especialmente CK e força isométrica, exige cautela na interpretação dos efeitos combinados.

Em uma abordagem mais ampla, Silva Díaz *et al*. (2026) avaliaram a suplementação de polifenóis na recuperação pós-exercício em jogadores de futebol. Os autores identificaram resultados mais promissores para dor muscular e indicadores perceptivos, enquanto os efeitos sobre recuperação funcional, inflamação e estresse oxidativo permaneceram inconsistentes. Embora essa revisão tenha incluído diferentes fontes de polifenóis, e não exclusivamente beterraba, seus achados reforçam a importância de distinguir a melhora dos sintomas percebidos das alterações fisiológicas e bioquímicas durante a recuperação.

A comparação entre essas revisões exige cautela, pois há sobreposição de ensaios clínicos e diferenças nos métodos de síntese. A concordância entre publicações, portanto, não representa confirmação independente dos efeitos.

5.7 Limitações das evidências

A interpretação dos resultados desta revisão deve considerar algumas limitações metodológicas dos estudos incluídos. Entre elas, destacam-se os tamanhos amostrais reduzidos, que podem limitar a precisão das estimativas e a identificação de diferenças significativas entre as condições experimentais. Além disso, embora tenham sido utilizados delineamentos controlados por placebo, as diferenças nos procedimentos metodológicos e a insuficiência de informações sobre determinados aspectos dos ensaios podem comprometer a avaliação de sua qualidade. Jones *et al*. (2022) também identificaram preocupações relacionadas ao risco de viés nos estudos analisados em sua meta-análise, especialmente quanto aos procedimentos de randomização e à condução das intervenções.

Outra limitação refere-se à predominância de participantes do sexo masculino. Embora estudos como os de Montenegro *et al*. (2017), Hemmatinafar *et al*. (2023) e Daneshparvar *et al*. (2025) tenham incluído mulheres, a quantidade de evidências ainda é insuficiente para determinar se o sexo ou o nível de treinamento influencia a resposta à suplementação. Essa característica restringe a generalização dos resultados para diferentes populações fisicamente ativas e modalidades esportivas.

A diversidade dos produtos utilizados, dos protocolos de exercício e dos instrumentos de avaliação também dificultou a comparação entre os estudos. Além das diferenças na composição dos suplementos, os períodos de acompanhamento variaram desde os primeiros minutos após o esforço até 72 horas, envolvendo processos fisiológicos distintos. Dessa forma, a ausência de padronização limita a identificação das condições em que a suplementação apresenta maior benefício e dificulta a interpretação conjunta dos resultados favoráveis e não significativos (Rojano-Ortega *et al*., 2022).

Quanto às limitações da própria revisão, a síntese dos resultados foi realizada de maneira descritiva e qualitativa, sem realização de meta-análise, o que impossibilita estimar quantitativamente a magnitude dos efeitos da suplementação.

5.8 Implicações para a Nutrição Esportiva

Os resultados desta revisão indicam que a suplementação com beterraba apresenta potencial como estratégia nutricional complementar para favorecer determinados componentes da recuperação muscular após o exercício físico, especialmente a redução da dor muscular e a recuperação de alguns indicadores funcionais. Esses efeitos podem ser relevantes para praticantes de exercício físico e atletas submetidos a sessões de treinamento ou competições com intervalos reduzidos de recuperação, nas quais a dor e a diminuição temporária da capacidade muscular podem comprometer o desempenho subsequente. Apesar desse potencial, os benefícios observados não foram uniformes entre os estudos, o que exige cautela quanto à sua aplicação prática (Rojano-Ortega *et al*., 2022; Jones *et al*., 2022).

Do ponto de vista da Nutrição Esportiva, a beterraba pode ser considerada uma fonte alimentar de compostos bioativos, incluindo nitrato, betalaínas e compostos fenólicos, cujo potencial fisiológico tem despertado interesse na recuperação pósexercício. Contudo, os resultados disponíveis ainda não permitem estabelecer recomendações específicas quanto à dose, à forma de apresentação ou à duração da suplementação. Além disso, a melhora de determinados indicadores de dor e função muscular não deve ser interpretada como comprovação de redução do dano muscular, da inflamação ou do estresse oxidativo, uma vez que esses efeitos não foram demonstrados de maneira consistente nos ensaios clínicos analisados.

Na prática profissional, a utilização da beterraba como estratégia complementar deve considerar as características individuais, a modalidade esportiva, a intensidade do treinamento e as necessidades nutricionais de cada praticante. Sua inclusão não substitui estratégias fundamentais para a recuperação, como ingestão energética e proteica adequada, reposição de carboidratos, hidratação e descanso. Dessa forma, a possível utilização de derivados da beterraba deve estar inserida em um planejamento nutricional individualizado, fundamentado nas evidências disponíveis e nos objetivos do atleta (Sousa, Teixeira e Soares, 2014; Owens *et al*., 2019).

Por fim, são necessárias novas investigações com amostras maiores e protocolos padronizados, que comparem diretamente formulações ricas em nitrato, betalaínas e a matriz integral da beterraba. Estudos que avaliem simultaneamente indicadores funcionais, perceptivos e bioquímicos, em diferentes momentos da recuperação, poderão esclarecer os mecanismos envolvidos e identificar as condições em que a suplementação apresenta maior benefício. Essas evidências serão fundamentais para

estabelecer recomendações mais precisas e seguras para a utilização da beterraba no contexto da Nutrição Esportiva.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão integrativa, composta por 13 estudos experimentais, identificou que a suplementação com beterraba (*Beta vulgaris* L.) apresenta potencial para favorecer determinados componentes da recuperação muscular após o exercício físico, especialmente a redução da dor muscular e a recuperação de alguns indicadores de força e função muscular. Entretanto, esses benefícios não foram observados de maneira uniforme entre os estudos.

Em relação aos marcadores bioquímicos de dano muscular, inflamação e estresse oxidativo, os resultados foram menos consistentes, não sendo possível afirmar que a suplementação promova redução efetiva do dano muscular ou modulação significativa das respostas inflamatórias e oxidativas. A heterogeneidade dos protocolos experimentais e os tamanhos amostrais reduzidos também dificultam a generalização dos resultados e o estabelecimento de recomendações específicas quanto à dose, ao momento de ingestão e à duração da suplementação.

Conclui-se que a beterraba constitui uma estratégia nutricional complementar promissora para a recuperação muscular em indivíduos fisicamente ativos e atletas, embora as evidências ainda sejam insuficientes para estabelecer recomendações definitivas. Nesse sentido, são necessários novos estudos com amostras maiores e protocolos padronizados, capazes de esclarecer os mecanismos envolvidos e identificar as condições em que a suplementação apresenta maior benefício.

REFERÊNCIAS

AHMADPOUR, Alireza; FASHI, Mohammad; HEMMATINAFAR, Mohammad. Consuming beetroot juice improves slalom performance and reduces muscle soreness in alpine skiers under hypoxic conditions. **Current Developments in Nutrition**, v. 8, art. 104408, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104408

ARMSTRONG, R. B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 529–538, 1984.

BEBA, Mohammad; DEHGHANI, Elaheh; GHOLIZADEH, Mohammad. The effect of beetroot juice (BRJ) supplementation on exercise-induced muscle damage (EIMD): a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. **Annals of Medicine & Surgery**, v. 88, n. 8, p. 5305–5316, 2026. DOI: https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000005231

BRASIL. Ministério da Saúde. Guia de atividade física para a população brasileira. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_atividade_fisica_populacao_brasileira.pdf. Acesso em: 25 out. 2026.

CASPERSEN, Carl J.; POWELL, Kenneth E.; CHRISTENSON, Gregory M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. **Public Health Reports**, Washington, v. 100, n. 2, p. 126–131, 1985. PMID: 3920711

CHAZAUD, Bénédicte. Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: application to exercise-induced muscle damage management. **Immunology and Cell Biology**, v. 94, n. 2, p. 140–145, 2016. DOI: 10.1038/icb.2015.97

CHEN, Liping; ZHU, Yuankang; HU, Zijing; WU, Shengjie; JIN, Chengtao. Beetroot as a functional food with huge health benefits: antioxidant, antitumor, physical function, and chronic metabolomics activity. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 11, p. 6406–6420, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/fsn3.2577

CHEUNG, Karoline; HUME, Patria A.; MAXWELL, Linda. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. **Sports Medicine**, v. 33, n. 2, p. 145–164, 2003. DOI: https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00005

CLARKSON, Priscilla M.; HUBAL, Monica J. Exercise-induced muscle damage in humans. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 81, n. 11, supl., p. S52–S69, 2002. DOI: https://doi.org/10.1097/01.PHM.0000029772.45258.43

CLEMENTE-SUÁREZ, Vicente J.; BUSTAMANTE-SÁNCHEZ, Álvaro; MIELGOAYUSO, Juan; MARTÍNEZ-GUARDADO, Ismael; MARTÍN-RODRÍGUEZ, Alexandra; TORNERO-AGUILERA, José F. Antioxidants and sports performance. **Nutrients**, v. 15, n. 10, art. 2371, 2023. DOI: 10.3390/nu15102371

CLIFFORD, Tom; HOWATSON, Glyn; WEST, Daniel J.; STEVENSON, Emma J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. **Nutrients**, Basel, v. 7, n. 4, p. 2801-2822, 2015. DOI: 10.3390/nu7042801

CLIFFORD, Tom; BELL, Oliver; WEST, Daniel J.; HOWATSON, Glyn; STEVENSON, Emma J. The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, p. 353–362, 2016b. DOI: https://doi.org/10.1007/s00421-015-3290-x

CLIFFORD, Tom; BERNTZEN, Bram; DAVISON, Gareth W.; WEST, Daniel J.; HOWATSON, Glyn; STEVENSON, Emma J. Effects of beetroot juice on recovery of muscle function and performance between bouts of repeated sprint exercise. **Nutrients**, v. 8, n. 8, art. 506, 2016a. DOI: https://doi.org/10.3390/nu8080506

CLIFFORD, Tom; BELL, Oliver; WEST, Daniel J.; HOWATSON, Glyn; STEVENSON, Emma J. Antioxidant-rich beetroot juice does not adversely affect acute neuromuscular adaptation following eccentric exercise. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 8, p. 812–819, 2017c. DOI: https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1192670

CLIFFORD, Tom; HOWATSON, Glyn; WEST, Daniel J.; STEVENSON, Emma J. Beetroot juice is more beneficial than sodium nitrate for attenuating muscle pain after strenuous eccentric-bias exercise. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 42, n. 11, p. 1185–1191, 2017a. DOI: https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0238

CLIFFORD, Tom; ALLERTON, Dean M.; BROWN, Meghan A.; HARPER, Liam; HORSBURGH, Steven; KEANE, Karen M.; STEVENSON, Emma J.; HOWATSON, Glyn. Minimal muscle damage after a marathon and no influence of beetroot juice on inflammation and recovery. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 42, n. 3, p. 263–270, 2017b. DOI: https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0525

CUENCA, Eduardo; JODRA, Pablo; PÉREZ-LÓPEZ, Alberto; GONZÁLEZRODRÍGUEZ, Liliana G.; FERNANDES DA SILVA, Sandro; VEIGA-HERREROS, Pablo; DOMÍNGUEZ, Raúl. Effects of beetroot juice supplementation on performance and fatigue in a 30-s all-out sprint exercise: a randomized, double-blind cross-over study. **Nutrients**, v. 10, n. 9, art. 1222, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/nu10091222

DAAB, Wael; BOUZID, Mohamed Amine; LAJRI, Mehdi; BOUCHIBA, Mustapha; SAAFI, Mohamed Ali; REBAI, Haithem. Chronic beetroot juice supplementation accelerates recovery kinetics following simulated match play in soccer players. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 40, n. 1, p. 61–69, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/07315724.2020.1735571

DANESHPARVAR, Alireza; HEMMATINAFAR, Mohammad; SALESI, Mohsen; REZAEI, Rasoul; IMANIAN, Babak; PIRMOHAMMADI, Sepideh. The effect of acute beetroot juice consumption prior to climbing on lower-body isokinetic and isometric strength, aerobic power, and muscle soreness among mountain climbers. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 22, n. 1, art. 2502656, 2025. DOI: https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2502656

DE OLIVEIRA, Gustavo Vieira; DO NASCIMENTO, Luiz Alberto Diniz; VOLINOSOUZA, Mônica; VELLOZO, Otávio do Couto; ALVARES, Thiago Silveira. A single oral dose of beetroot-based gel does not improve muscle oxygenation parameters, but speeds up handgrip isometric strength recovery in recreational combat sports athletes.
Biology of Sport, v. 37, n. 1, p. 93–99, 2020. DOI: https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.92518

DIPLOCK, A. T. et al. Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 81, supl. 1, p. S1–S27, 1999. DOI:10.1017/S0007114599000471

DOMÍNGUEZ, Raúl et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes: A systematic review. **Nutrients**, v. 9, n. 1, p. 43, 2017. DOI: 10.3390/nu9010043

DOMÍNGUEZ, Raúl et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 2, 2018. DOI: 10.1186/s12970-017-0204-9

ESATBEYOGLU, Tuba; WAGNER, Anika E.; MOTAFAKKERAZAD, Rouhollah; NAKAJIMA, Yu; MATSUGO, Seiichi; RIMBACH, Gerald. Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 73, p. 119–126, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.08.007

ESATBEYOGLU, Tuba; WAGNER, Anika E.; SCHINI-KERTH, Valérie B.; RIMBACH, Gerald. Betanin—a food colorant with biological activity. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 59, n. 1, p. 36–47, 2015. DOI: https://doi.org/10.1002/mnfr.201400484

GEORGIEV, Vasil G.; WEBER, Jost; KNESCHKE, Eva M.; DENEV, Petko N.; BLEY, Thomas; PAVLOV, Atanas I. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot Beta vulgaris cv. Detroit dark red. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 65, p. 105–111, 2010. DOI: 10.1007/s11130-010-0156-6

HEMMATINAFAR, Mohammad; ZAREMOAYEDI, Leila; KOUSHKIE JAHROMI, Maryam; ALVAREZ-ALVARADO, Stacey; WONG, Alexei; NIKNAM, Alireza; SUZUKI, Katsuhiko; IMANIAN, Babak; BAGHERI, Reza. Effect of beetroot juice supplementation on muscle soreness and performance recovery after exerciseinduced muscle damage in female volleyball players. **Nutrients**, v. 15, n. 17, art. 3763, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/nu15173763

JONES, Andrew M. Dietary nitrate supplementation and exercise performance. **Sports Medicine**, v. 44, supl. 1, p. S35–S45, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s40279-0140149-y

JONES, Louise; BAILEY, Stephen J.; ROWLAND, Samantha N.; ALSHARIF, Nehal; SHANNON, Oliver M.; CLIFFORD, Tom. The effect of nitrate-rich beetroot juice on markers of exercise-induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis of human intervention trials. **Journal of Dietary Supplements**, v. 19, n. 6, p. 749–771, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/19390211.2021.1939472

KHAN, Mohammad I. Plant betalains: safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 2, p. 316–330, 2016. DOI: 10.1111/1541-4337.12185

KOSS-MIKOŁAJCZYK, Izabela; KUSZNIEREWICZ, Barbara; WICZKOWSKI, Wieslaw; SAWICKI, Tomasz; BARTOSZEK, Agnieszka. The comparison of betalain composition and chosen biological activities for differently pigmented prickly pear (Opuntia ficus-indica) and beetroot (Beta vulgaris) varieties. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 4, p. 442–458, 2019. DOI: 10.1080/09637486.2018.1529148

LIDDER, Satnam; WEBB, Andrew J. Vascular effects of dietary nitrate (as found in green leafy vegetables and beetroot) via the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway. **British Journal of Clinical Pharmacology**, v. 75, n. 3, p. 677–696, 2013. DOI: 10.1111/j.1365-2125.2012.04420.x

MARTINEZ, Renata M.; MELO, Cristina P. B.; PINTO, Ingrid C.; MENDES-PIEROTTI, Soraia; VIGNOLI, Josiane A.; VERRI, Waldiceu A.; CASAGRANDE, Rubia. Betalains: a narrative review on pharmacological mechanisms supporting the nutraceutical potential towards health benefits. **Foods**, Basel, v. 13, n. 23, p. 3909, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13233909

MCMAHON, Nicholas F.; LEVERITT, Michael D.; PAVEY, Toby G. The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, Auckland, v. 47, n. 4, p. 735–756, 2017. DOI: 10.1007/s40279-016-0617-7

MILTON-LASKIBAR, Iñaki; MARTÍNEZ, J. Alfredo; PORTILLO, María P. Current knowledge on beetroot bioactive compounds: role of nitrate and betalains in health and disease. Foods, Basel, v. 10, n. 6, p. 1314, 2021. DOI: 10.3390/foods10061314. NINFALI, Paolino; ANGELINO, Donato. Nutritional and functional potential of Beta vulgaris cicla and rubra. **Fitoterapia**, v. 89, p. 188–199, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.06.004

MONTENEGRO, Cristhian F.; KWONG, David A.; MINOW, Zev A.; DAVIS, Brian A.; LOZADA, Christina F.; CASAZZA, Gretchen A. Betalain-rich concentrate supplementation improves exercise performance and recovery in competitive triathletes. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 42, n. 2, p. 166–172, 2017. DOI: https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0452

NINFALI, Paolino; ANGELINO, Donato. Nutritional and functional potential of Beta vulgaris cicla and rubra. **Fitoterapia**, Amsterdam, v. 89, p. 188–199, 2013. DOI: 10.1016/j.fitote.2013.06.004

NIRMAL, Siriwan; OLATUNDE, Oladipupo O.; MEDHE, Seema; VITTI, Steven; KHEMTONG, Chutimon; NIRMAL, Nilesh P. Betalains alleviate exercise-induced oxidative stress, inflammation, and fatigue and improve sports performance: an update

on recent advancement. **Current Nutrition Reports**, v. 12, n. 4, p. 778–787, 2023. DOI: 10.1007/s13668-023-00500-0

O'CONNOR, Emma; MÜNDEL, Toby; BARNES, Matthew J. Nutritional compounds to improve post-exercise recovery. **Nutrients**, [S. l.], v. 14, n. 23, art. 5069, 2022. DOI: 10.3390/nu14235069.

ORMSBEE, Michael J.; LOX, Jon; ARCIERO, Paul J. Beetroot juice and exercise performance. **Nutrition and Dietary Supplements**, v. 5, p. 27–35, 2013. DOI: https://doi.org/10.2147/NDS.S52664

OWENS, Daniel J.; TWIST, Craig; COBLEY, James N.; HOWATSON, Glyn; CLOSE, Graeme L. Exercise-induced muscle damage: what is it, what causes it and what are the nutritional solutions? **European Journal of Sport Science**, v. 19, n. 1, p. 71–85, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505957

PEDERSEN, B. K.; SALTIN, B. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v. 25, Suppl. 3, p. 1-72, 2015. DOI: 10.1111/sms.12581.

PETERNELJ, Tina-Tinkara; COOMBES, Jeff S. Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? **Sports Medicine**, v. 41, n. 12, p. 1043–1069, 2011. DOI: https://doi.org/10.2165/11594400-000000000-00000

POWERS, Scott K.; JACKSON, Malcolm J. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. **Physiological Reviews**, v. 88, n. 4, p. 1243–1276, 2008. DOI: https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007

POWERS, Scott K.; RADAK, Zsolt; JI, Li L. Exercise-induced oxidative stress: past, present and future. **The Journal of Physiology**, v. 594, n. 18, p. 5081–5092, 2016. DOI: 10.1113/JP270646. PMID: 26893258

POWERS, Scott. K.; HOWLEY, Edward. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 9. ed. São Paulo: Manole Editora, 2017. 656 p.

PROSKE, Uwe; MORGAN, David L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of Physiology**, v. 537, n. 2, p. 333–345, 2001. DOI: https://doi.org/10.1111/j.14697793.2001.00333.x

PROSKE, Uwe; ALLEN, Trevor J. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 33, n. 2, p. 98–104, 2005. DOI: 10.1097/00003677-200504000-00007

RAHIMI, Parisa; ABEDIMANESH, Saeed; NAMIN, Seyed A. M.; OSTADRAHIMI,

Alireza. Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2019. DOI: 10.1080/10408398.2018.1479830

ROJANO-ORTEGA, Daniel; PEÑA AMARO, José; BERRAL-AGUILAR, Antonio J.; BERRAL-DE LA ROSA, Francisco J. Effects of beetroot supplementation on recovery after exercise-induced muscle damage: a systematic review. **Sports Health**, v. 14, n. 4, p. 556–565, 2022. DOI: https://doi.org/10.1177/19417381211036412

SALEM, Atef; AMMAR, Achraf; KERKENI, Mohamed; BOUJELBANE, Mohamed Ali; UYAR, Ayse Merve; KÖBEL, Leonard Moritz; SELVARAJ, Saranya; ZARE, Reza; HEINRICH, Katie M.; JAHRAMI, Haitham; TOUNSI, Slim; ZMIJEWSKI, Piotr; SCHÖLLHORN, Wolfgang I.; TRABELSI, Khaled; CHTOUROU, Hamdi. Short-term beetroot juice supplementation enhances strength, reduces fatigue, and promotes recovery in physically active individuals: a randomized, double-blind, crossover trial. **Nutrients**, v. 17, n. 10, art. 1720, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/nu17101720

SILVA DÍAZ, Verónica; CASTILLO-PAREDES, Antonio; IMAN TORRES, Alexander Javier; ALVES VARGAS, Anthony Enrique; GUZMÁN-MUÑOZ, Eduardo; NARREA VARGAS, Jose Jairo. Effect of polyphenol supplementation on post-exercise recovery in adult male soccer players: a systematic review. **Nutrients**, v. 18, n. 10, art. 1638, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/nu18101638

SOUSA, Mónica; TEIXEIRA, Vítor H.; SOARES, José. Dietary strategies to recover from exercise-induced muscle damage. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 65, n. 2, p. 151–163, 2014. DOI: https://doi.org/10.3109/09637486.2013.849662

TIDBALL, James G. Inflammatory processes in muscle injury and repair. **American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 288, n. 2, p. R345–R353, 2005. DOI: 10.1152/ajpregu.00454.2004

VIDAL, Pedro J.; LÓPEZ-NICOLÁS, José M.; GANDÍA-HERRERO, Fernando; GARCÍA-CARMONA, Francisco. Inactivation of lipoxygenase and cyclooxygenase by natural betalains and semi-synthetic analogues. **Food Chemistry**, v. 154, p. 246–254, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.014

WEITZBERG, Eddie; LUNDBERG, Jon O. Novel aspects of dietary nitrate and human health. **Annual Review of Nutrition**, v. 33, p. 129–159, 2013. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071812-161159

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA – IAG

Declaramos a utilização da ferramenta de inteligência artificial generativa ChatGPT (OpenAI) como recurso de apoio durante o desenvolvimento deste Trabalho

de Conclusão de Curso, auxiliando na organização das informações científicas, estruturação e revisão textual, aprimoramento da linguagem acadêmica e síntese e discussão dos resultados. A responsabilidade pela conferência das informações, interpretação das evidências científicas e versão final do trabalho é das autoras.