

**Oxalis latifolia COMO POTENCIAL MODULADORA DO ESTRESSE OXIDATIVO  
INDUZIDO PELO EXERCÍCIO FÍSICO**

Thalyta Moreira<sup>1</sup>, Daniela Miotto Bernardi<sup>1</sup>, Luciana Bill Mikito<sup>1</sup>

**RESUMO**

O estresse oxidativo decorre do desequilíbrio entre espécies reativas de oxigênio (EROs) e os mecanismos antioxidantes endógenos, sendo intensificado durante exercícios físicos de alta intensidade. Esse processo compromete a integridade celular, desencadeia inflamação e reduz o desempenho físico. Nesse contexto, cresce o interesse por compostos bioativos, especialmente polifenóis, em razão de sua capacidade de modular vias antioxidantes e inflamatórias. Este estudo teve como objetivo investigar os efeitos dos polifenóis sobre o estresse oxidativo induzido por exercício físico intenso, com ênfase no potencial terapêutico da *Oxalis latifolia*. Foi conduzida uma revisão integrativa da literatura, incluindo artigos publicados entre 2019 e 2025 nas bases PubMed e Scopus, complementada por busca manual em listas de referências. Selecionaram-se 26 estudos que evidenciaram efeitos protetores dos polifenóis, principalmente por meio da ativação do fator nuclear relacionado ao fator eritroide 2 (Nrf2), responsável pela expressão de enzimas antioxidantes endógenas. Além disso, verificou-se a inibição da via inflamatória mediada pelo fator nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B) e pela ciclooxigenase-2 (COX-2), o que resultou na atenuação da resposta inflamatória. Esses mecanismos culminam na redução de EROs, preservação tecidual e melhora do desempenho físico. Conclui-se que, embora faltem evidências experimentais específicas sobre a *O. latifolia*, sua composição fitoquímica respalda seu potencial terapêutico na mitigação do estresse oxidativo induzido pelo exercício.

**Palavras-chave:** Exercício físico. Compostos bioativos de plantas. Nutrição no esporte.

1 - Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil.

Autor correspondente:  
Thalyta Moreira.  
thalytamoreirawq@gmail.com

**ABSTRACT**

*Oxalis latifolia* as a potential modulator of exercise-induced oxidative stress: nutritional and physiological perspectives

Oxidative stress results from an imbalance between reactive oxygen species (ROS) and endogenous antioxidant mechanisms, being intensified during high-intensity physical exercise. This process compromises cellular integrity, triggers inflammation, and reduces physical performance. In this context, there is growing interest in bioactive compounds, especially polyphenols, due to their ability to modulate antioxidant and inflammatory pathways. This study aimed to investigate the effects of polyphenols on oxidative stress induced by intense physical exercise, with an emphasis on the therapeutic potential of *Oxalis latifolia*. An integrative literature review was conducted, including articles published between 2019 and 2025 in the PubMed and Scopus databases, complemented by a manual search of reference lists. A total of 26 studies were selected, which demonstrated the protective effects of polyphenols, mainly through the activation of the nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (Nrf2), responsible for the expression of endogenous antioxidant enzymes. Additionally, inhibition of the inflammatory pathway mediated by nuclear factor kappa B (NF- $\kappa$ B) and cyclooxygenase-2 (COX-2) was observed, resulting in the attenuation of the inflammatory response. These mechanisms culminate in the reduction of ROS, tissue preservation, and improvement of physical performance. It is concluded that, although specific experimental evidence on *O. latifolia* is still lacking, its phytochemical composition supports its therapeutic potential in mitigating exercise-induced oxidative stress.

**Key words:** Physical exercise. Bioactive plant compounds. Sports nutrition.

E-mail dos demais autores:  
thalytamoreirawq@gmail.com  
daniela.bernardi@unioeste.br  
luciana.mikito@unioeste.br

## INTRODUÇÃO

O estresse oxidativo tem sido amplamente reconhecido como um fator central na fisiopatologia de diversas condições clínicas e fisiológicas, especialmente no contexto do exercício físico intenso.

Caracterizado por um desequilíbrio entre espécies reativas de oxigênio (EROs) e os mecanismos antioxidantes endógenos, esse processo pode comprometer a integridade celular, desencadear inflamações e afetar negativamente o desempenho e a recuperação muscular (Cho e colaboradores, 2022).

Durante esforços extenuantes, a produção de EROs aumenta de forma acentuada, ultrapassando a capacidade neutralizante dos mecanismos antioxidantes intrínsecos (Liu, Wang, Wang, 2023).

Embora a prática regular de atividade física seja amplamente benéfica, quando realizada em intensidades elevadas pode gerar alterações metabólicas deletérias, tornando essencial a adoção de estratégias que atenuem o impacto do desequilíbrio redox.

Nesse contexto, compostos bioativos de origem vegetal, particularmente os polifenóis, têm despertado expressivo interesse científico em virtude de sua habilidade em modular vias redox e inflamatórias, favorecendo respostas adaptativas protetoras frente aos danos celulares induzidos pelo exercício (Yu e colaboradores, 2022).

Entre as espécies vegetais de maior potencial terapêutico destaca-se *Oxalis latifolia*, tradicionalmente empregada na medicina popular e notável por sua rica composição fitoquímica, marcada pela elevada concentração de polifenóis (Vignesh e colaboradores, 2025).

Pesquisas recentes apontam relevante atividade antioxidante associada à espécie, atribuída à abundância e diversidade de compostos bioativos presentes em seus extratos (Vignesh e colaboradores, 2025).

Diante desse panorama, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura acerca dos efeitos do exercício físico intenso na geração de espécies reativas e da possível modulação desse processo por compostos antioxidantes, com ênfase nos constituintes da planta *O. latifolia*. As análises aqui apresentadas buscam ampliar a compreensão dos mecanismos envolvidos e subsidiar o desenvolvimento de estratégias

naturais voltadas à mitigação do estresse oxidativo induzido pelo exercício.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, elaborada com o propósito de reunir, analisar criticamente e sintetizar as evidências disponíveis sobre a influência de compostos antioxidantes na modulação do estresse oxidativo associado ao exercício físico de alta intensidade.

O enfoque foi direcionado aos polifenóis, em razão de sua expressiva representatividade na composição fitoquímica da espécie *O. latifolia*.

A estratégia de busca bibliográfica foi realizada entre março e maio de 2025, utilizando as bases de dados PubMed e Scopus, selecionadas por sua ampla cobertura e relevância nas áreas biomédica e científica.

Foram empregados tanto descritores controlados, como os Cabeçalhos de Assunto Médico (Medical Subject Headings - MeSH) quando compatíveis com a base de dados, quanto descritores livres, de modo a ampliar a abrangência da busca. Os termos foram combinados por meio do operador booleano "AND", a fim de assegurar uma seleção mais refinada e pertinente dos estudos relacionados ao tema investigado.

Os seguintes termos foram utilizados: "*Oxalis latifolia*", "Oxidative Stress AND High-Intensity Exercise", "Oxidative Stress AND Reactive Oxygen Species", "Flavonoids AND Antioxidants AND Exercise", "Polyphenols AND Antioxidants AND Exercise" e "Nrf2 AND Polyphenols". Ademais, foi realizada uma busca secundária manual na lista de referências dos artigos inicialmente selecionados, resultando na inclusão de três estudos adicionais relevantes ao escopo da revisão.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: artigos originais publicados entre 2019 e 2025, com exceção de um estudo seminal de 1986 (Sies, 1986), considerado por definir pela primeira vez o conceito de estresse oxidativo; textos disponíveis na íntegra; publicações nos idiomas português ou inglês; estudos que abordassem os conceitos de estresse oxidativo e EROs; investigações sobre mecanismos de indução do estresse oxidativo no músculo esquelético por exercício físico intenso; ensaios clínicos randomizados ou estudos experimentais com animais que

analisassem a modulação do estresse oxidativo por compostos bioativos; e estudos que descrevessem a composição fitoquímica da espécie *O. latifolia*.

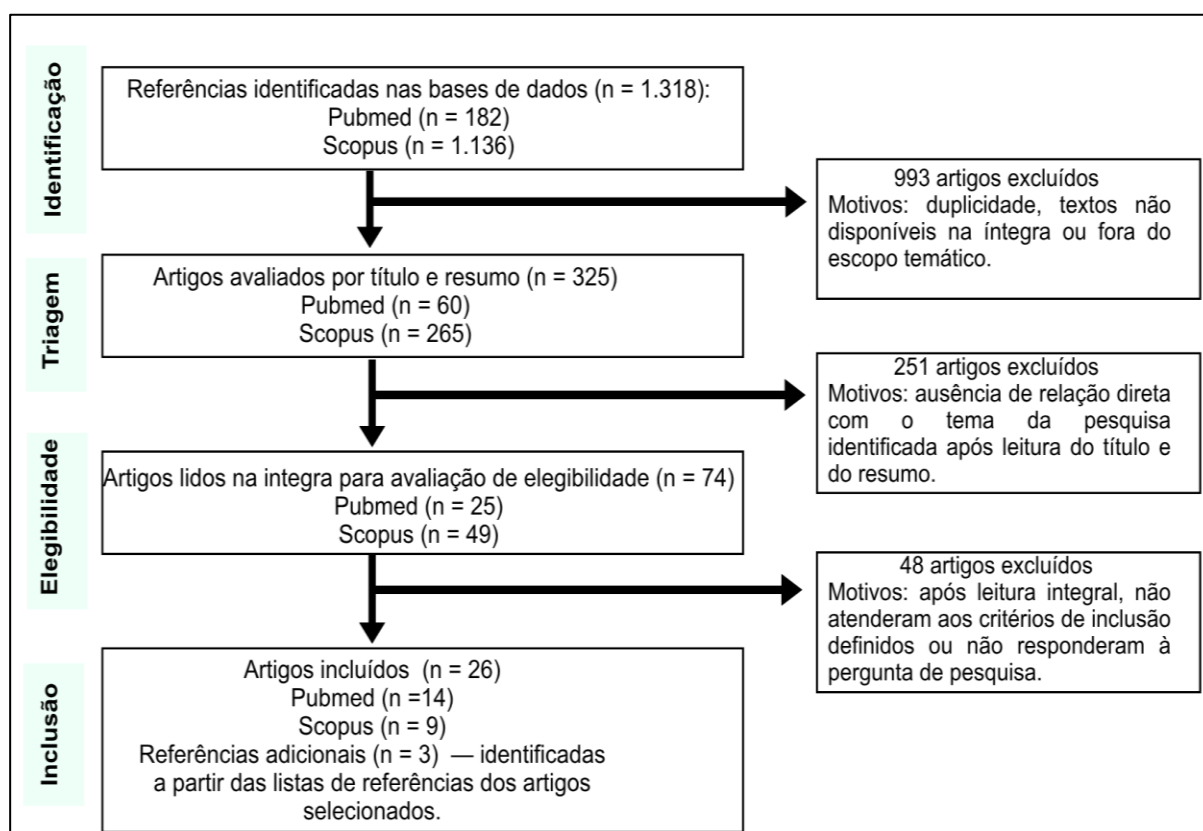
Foram excluídos artigos de opinião, editoriais, resumos de congresso, publicações indisponíveis na íntegra, textos em idiomas diferentes do português e inglês, e estudos que não atenderam aos critérios estabelecidos previamente.

O processo de seleção dos estudos foi realizado em três etapas sequenciais: leitura dos títulos, leitura dos resumos e leitura integral

dos textos que atenderam aos critérios de elegibilidade.

Esse processo está sintetizado na Figura 1, que apresenta de forma esquemática os critérios de inclusão e exclusão, as bases de dados consultadas e o número de estudos incluídos após a triagem.

Ao término da seleção, 26 artigos foram incluídos nesta revisão, sendo 14 oriundos da base PubMed, 9 da base Scopus e 3 provenientes da análise manual das referências.



**Figura 1** - Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão integrativa. Fonte: Autoras com auxílio do programa Canva (2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Quadro 1** - Estudos sobre efeitos de compostos bioativos no estresse oxidativo e desempenho físico.

Autor / Ano	Amostra	Exercício	Composto Bioativo / Intervenção	Biomarcadores Avaliados	Principais Resultados
Mollace e colaboradores, 2025	90 Humanos atletas homens.	Corrida em esteira até exaustão.	Polifenóis de bergamota (500 mg/kg/dia e 1000 mg/kg/dia, via oral, por 3 meses)	Análise Bioquímica: NO <sup>30</sup> total, razão nitrito/nitrato) e MDA <sup>15</sup> .	A suplementação aumentou significativamente NO <sup>30</sup> e a razão nitrito/nitrato, favorecendo vasodilatação, e reduziu os níveis de MDA <sup>15</sup> .
Wang e colaboradores, 2025	24 camundongos.	Corrida em esteira por 4 semanas, 4x/semana, 30 min a 12 m/min.	Spirulina em pó esterilizada (100 mg/kg e 300 mg/kg), administrada por gavagem durante 4 semanas.	Análise tecidual: Em amostras de músculo esquelético foram quantificados EROs, CAT <sup>19</sup> e SOD <sup>18</sup> .  Histologia muscular hepática e intestinal;  Avaliação da microbiota intestinal.	A dose de 300 mg/kg reduziu EROs em 39%, aumentou SOD <sup>18</sup> e CAT <sup>19</sup> , atenuou danos hepáticos/musculares e elevou a diversidade da microbiota intestinal, com aumento de Lachnospiraceae_N K4A136_group.
Shanmuga sundaram, Roza, 2024	24 Ratos Sprague-Dawley.	Corrida em esteira por 4 semanas a 45 m/min.	SophorOx <sup>TM</sup> (quercetina + rutina de Sophora japonica L.).  500 mg/dia por 4 semanas (via oral).	Análise Bioquímica: Glicose, AST <sup>12</sup> , ALT <sup>11</sup> , ALP <sup>13</sup> , T-BIL <sup>14</sup> , PCR <sup>6</sup> , IL-1β <sup>26</sup> , IL-6 <sup>25</sup> , TNF-α <sup>24</sup> , 8-iso-PGF2α <sup>16</sup> , MDA <sup>15</sup> , 8-OHdG <sup>17</sup> .	Redução significativa de MDA <sup>15</sup> , 8-OHdG <sup>17</sup> , IL-6 <sup>25</sup> , IL-1β <sup>26</sup> , TNF-α <sup>24</sup> e PCR <sup>6</sup> ; sem alterações em parâmetros hepáticos.
Ji e colaboradores, 2024	In vivo: 36 Camundongos machos.  In vitro: linhagem C2C12 de mioblastos de camundongo.	Corrida em esteira até exaustão (in vivo)	Kaempferol  In vivo: (25 e 100 mg/kg/dia, via oral por 35 dias);  In vitro: tratados com diferentes concentrações de Kaempferol (6,25; 12,5; 25 e 50 µM)	In vivo: força de preensão, resistência, glicose, LA <sup>1</sup> , LDH <sup>2</sup> , BUN <sup>3</sup> , CK <sup>4</sup> , TG <sup>7</sup> , CT <sup>8</sup> , ALT <sup>11</sup> , AST <sup>12</sup> , MDA <sup>15</sup> , SOD <sup>18</sup> , GSH-Px <sup>20</sup> , quantificação de ATP <sup>22</sup> e glicogênio muscular/ hepático.  In vitro: captação de glicose, níveis de EROs, síntese proteica, avaliação da massa/funcionalidade mitocondrial e	O Kaempferol aumentou força e resistência, elevou ATP <sup>22</sup> , glicogênio, SOD <sup>18</sup> e GSH-Px <sup>20</sup> , e reduziu LA <sup>1</sup> , CK <sup>4</sup> , MDA <sup>15</sup> e EROs. In vitro, estimulou a captação de glicose, a síntese proteica e a biogênese mitocondrial.

**RBNE**  
**Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**

				expressão de proteínas-alvo.	
Li, Wang, Yang, 2023	50 camundongos machos induzidos ao envelhecimento com D-galactose 5% (100 mg/kg)	Teste de corrida e natação até exaustão	Extrato de Peucedanum praeruptorum (50 mg/kg/dia e 100 mg/kg/dia), via gavagem 7ª à 10ª semana.  Controle positivo: Vitamina C (100 mg/kg).	Análise Bioquímica: BUN <sup>3</sup> , LA <sup>1</sup> , MDA <sup>15</sup> , SOD <sup>18</sup> GSH-Px <sup>20</sup> .  Análise de Tecidos: glicogênio muscular e hepático. E expressão de mRNA <sup>23</sup> nos tecidos.	A dose de 100 mg/kg aumentou o tempo de exaustão, elevou a atividade antioxidante (SOD <sup>18</sup> , GSH-Px <sup>20</sup> ), aumentou os estoques de glicogênio e regulou positivamente a via Nrf2 <sup>28</sup> /HO-1 <sup>29</sup> . Além de reduzir os níveis séricos de BUN <sup>3</sup> , LA <sup>1</sup> e MDA <sup>15</sup> .
Liu e colaboradores, 2022	70 Camundongos machos.	Corrida em esteira por 6 semanas, 6x/semana, 45 min; seguido de teste de exaustão	Extrato de polifenóis de Lonicera caerulea (250 mg/kg/dia, via intragástrica, 6 semanas) Controle positivo: Vitamina C (60 mg/kg).	Análise Bioquímica: CK <sup>4</sup> , LA <sup>1</sup> , LDH <sup>2</sup> , MDA <sup>15</sup> , TNF- $\alpha$ <sup>24</sup> , IL-6 <sup>25</sup> , níveis de ureia, CAT <sup>19</sup> , SOD <sup>18</sup> , GSH-Px <sup>20</sup> e conteúdo total antioxidante. Análise de Tecidos: quantificação de ATP <sup>22</sup> e glicogênio muscular e hepático. Análise Histológica: quantificação de EROs e avaliação do tecido muscular.  Expressão de proteínas por Western Blotting.	A suplementação com o extrato provocou aumento da resistência física, maior armazenamento de ATP <sup>22</sup> e glicogênio, aumento da atividade antioxidante e redução de marcadores de dano (LDH <sup>2</sup> , CK <sup>4</sup> , BUN <sup>3</sup> ), EROs e inflamação muscular. Além disso houve, regulação positiva das proteínas NOX2 <sup>31</sup> e NOX4 <sup>32</sup> , além de estímulo à biogênese mitocondrial, proliferação de células musculares e melhora do metabolismo energético.
Yu e colaboradores, 2022	50 Camundongos machos	Natação por 4 semanas, incluindo fases adaptativa, treinamento e teste final exaustivo.	Extrato de polifenóis derivados de Crataegus pinnatifida (200mg/kg/dia ) via gavagem após o período de uma semana de adaptação.	Análise bioquímica: BUN <sup>3</sup> , LA <sup>1</sup> , MDA <sup>15</sup> , GSH <sup>21</sup> , SOD <sup>18</sup> e capacidade antioxidante total.  Análise tecidual: Em amostras de músculo esquelético foram quantificadas as enzimas CK <sup>4</sup> , LDH <sup>2</sup> , e quantificação de	Prolongou o tempo até a exaustão, aumentou GSH <sup>21</sup> , SOD <sup>18</sup> e capacidade antioxidante total; reduziu MDA <sup>15</sup> , CK <sup>4</sup> , LDH <sup>2</sup> e marcadores inflamatórios (IL-6 <sup>25</sup> , TNF- $\alpha$ <sup>24</sup> , IL-1 $\beta$ <sup>26</sup> , NF- $\kappa$ B <sup>27</sup> ); regulou genes relacionados à proteção neuromuscular,

**RBNE**  
**Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**

				glicogênio muscular e hepático. Expressão gênica e proteica (Western blotting). Avaliação da microbiota intestinal.	preservação da massa muscular, otimização do metabolismo energético, resistência muscular e atividade antioxidante endógena. Além de promover equilíbrio da microbiota intestinal.
Hooper e colaboradores, 2021	13 Humanos treinados.	6 séries de 10 agachamentos com 80% de 1RM <sup>33</sup> .	NordicCherry® (Extrato de cereja ácida em pó)  500 mg/dia por 7 dias (cross-over).	Análise Bioquímica: CK <sup>4</sup> , CK-MB <sup>5</sup> .  Força de preensão.	Redução de CK <sup>4</sup> , melhora da recuperação, menor fadiga central e atenuação do estresse oxidativo.
Zhang, Li, Yang, 2021	75 Camundongos machos	Corrida em esteira (30 m/min, a cada 3 dias, por 4 semanas) + teste de exaustão.	Extrato de sementes de limão (50mg/kg/dia e 100mg/kg/dia) via intragástrica durante 4 semanas.  Controle positivo: Vitamina C (100mg/kg).	Análise bioquímica: MDA <sup>15</sup> , SOD <sup>18</sup> e CAT <sup>19</sup> .  Análise Hepática: glicogênio, LA <sup>1</sup> , BUN <sup>3</sup> , ácidos graxos livres.  Análise do tecido muscular cardíaco: CK <sup>4</sup> , AST <sup>12</sup> , ALT <sup>11</sup> .  Análise Histológica: O músculo esquelético foi coletado para expressão gênica.	A dose de 100 mg/kg aumentou tempo até exaustão, glicogênio e ácidos graxos livres; reduziu MDA <sup>15</sup> , LA <sup>1</sup> , CK <sup>4</sup> , AST <sup>12</sup> , ALT <sup>11</sup> ; aumentou enzimas antioxidantes (SOD <sup>18</sup> e CAT <sup>19</sup> ) e expressão de genes protetores com supressão inflamatória.
Lee e colaboradores, 2021	60 Humanos adultos.	100 saltos excêntricos (10x10)	Planox® (extrato de verbena-limão) 400 mg/dia por 14 dias (10 dias antes, dia do teste e 3 dias após).	Análise bioquímica: CK <sup>4</sup> , IL-6 <sup>25</sup> , GSH-Px <sup>20</sup> , 8-OHdG <sup>17</sup> , glicose, AST <sup>12</sup> , ALT <sup>11</sup> , LDH <sup>2</sup> , CT <sup>8</sup> , TG <sup>7</sup> , HDL <sup>9</sup> e LDL <sup>10</sup> .	Redução de CK <sup>4</sup> e IL-6 <sup>25</sup> , aumento da GSH-Px <sup>20</sup> , diminuição de 8-OHdG <sup>17</sup> e melhora do desempenho aeróbico.
Semen e colaboradores, 2020	54 Humanos corredores recreativos.	Meia maratona com indução de estresse renal (400 mg de ibuprofeno).	Mistura 50:50 de extratos de sementes de uva (Vitis vinifera L.) e casca de pinheiro	Análise bioquímica: MDA <sup>15</sup> , IL-6 <sup>25</sup> , TNF-α <sup>24</sup> , Creatinina, albumina, ureia, ácido úrico, eletrólitos (sódio, potássio, cloreto) e capacidade antioxidante total.	Redução de hematúria, IL-6 <sup>25</sup> e MDA <sup>15</sup> , aumento da resposta antioxidante total e proteção renal.



			(Pinus pinaster L.). 200 mg/dia por 14 dias antes da corrida.	- Biomarcadores de lesão renal.	
--	--	--	---	------------------------------------	--

**Legenda:** (1) LA: Ácido láctico; (2) LDH: Lactato desidrogenase; (3) BUN: Nitrogênio ureico sanguíneo; (4) CK: Creatina quinase; (5) CK-MB: Isoenzima MB da creatina quinase; (6) PCR: Proteína C reativa; (7) TG: Triglicerídeos; (8) CT: Colesterol total; (9) HDL: Lipoproteína de alta densidade; (10) LDL: Lipoproteína de baixa densidade; (11) ALT: Alanina aminotransferase; (12) AST: Aspartato aminotransferase; (13) ALP: Fosfatase alcalina; (14) T-BIL: Bilirrubina total; (15) MDA: Malondialdeído; (16) 8-iso-PGF2 $\alpha$ : 8-Isoprostano prostaglandina F2 alfa; (17) 8-OHdG: 8-Hidroxi-2'-desoxiguanosina; (18) SOD: Superóxido dismutase; (19) CAT: Catalase; (20) GSH-Px: Glutathione peroxidase; (21) GSH: Glutathione reduzida; (22) ATP: Adenosina trifosfato; (23) mRNA: RNA mensageiro; (24) TNF- $\alpha$ : Fator de necrose tumoral alfa; (25) IL-6: Interleucina 6; (26) IL-1 $\beta$ : Interleucina 1 beta; (27) NF- $\kappa$ B: Fator de transcrição nuclear kappa B; (28) Nrf2: Fator nuclear eritroide 2 relacionado ao fator 2; (29) HO-1: Heme oxigenase-1; (30) NO: Óxido nítrico; (31) NOX2: isoforma 2 da NADPH oxidase; (32) NOX4: isoforma 4 da NADPH oxidase; (33) RM: repetição máxima.

Fonte: Elaboração própria com base em Hooper e colaboradores (2021); Ji e colaboradores (2024); Lee e colaboradores (2021); Li, Wang e Yang (2023); Mollace e colaboradores (2025); Semen e colaboradores (2020); Shanmugasundaram e Roza (2024); Wang e colaboradores (2025); Yu e colaboradores (2022); Zhang, Li e Yang (2021).

### **Estresse oxidativo no exercício intenso: mecanismos, fontes e biomarcadores**

O estresse oxidativo, inicialmente descrito por Helmut Sies na década de 1980, refere-se a um desequilíbrio do metabolismo redox em que processos pró-oxidantes se sobrepõem às defesas antioxidantes (Sies, 1986).

Ao longo das últimas décadas o conceito evoluiu de uma definição simplificada para uma compreensão mais ampla, que o enxerga como um estado caracterizado pelo aumento de reações oxidativas e pela geração excessiva de radicais livres e outros intermediários reativos, os quais desencadeiam respostas inflamatórias e comprometem a homeostase celular (Cheng e colaboradores, 2022).

Nas células, as principais espécies reativas envolvem derivados do oxigênio e do nitrogênio, tradicionalmente denominadas espécies reativas de oxigênio (EROs) e espécies reativas de nitrogênio (ERNs) (Jomova e colaboradores, 2023). Entre as EROs, destacam-se o ânion superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), o radical hidroxila ( $\cdot OH$ ) e o oxigênio singlete ( $^1O_2$ ), todos intimamente ligados a mecanismos de dano lipídico e proteico (Yoshikawa, You, 2024).

No grupo das ERNs, o óxido nítrico ( $NO\cdot$ ) é um representante-chave. Embora exerça funções fisiológicas essenciais, como a vasodilatação, sua natureza radical o torna capaz de reagir com  $O_2^{\cdot-}$ , resultando na formação do peroxinitrito ( $ONOO^-$ ), uma substância altamente tóxica ao organismo. Ademais o dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), constitui outro exemplo relevante de ERNs também classificado como radical livre (Yoshikawa, You, 2024).

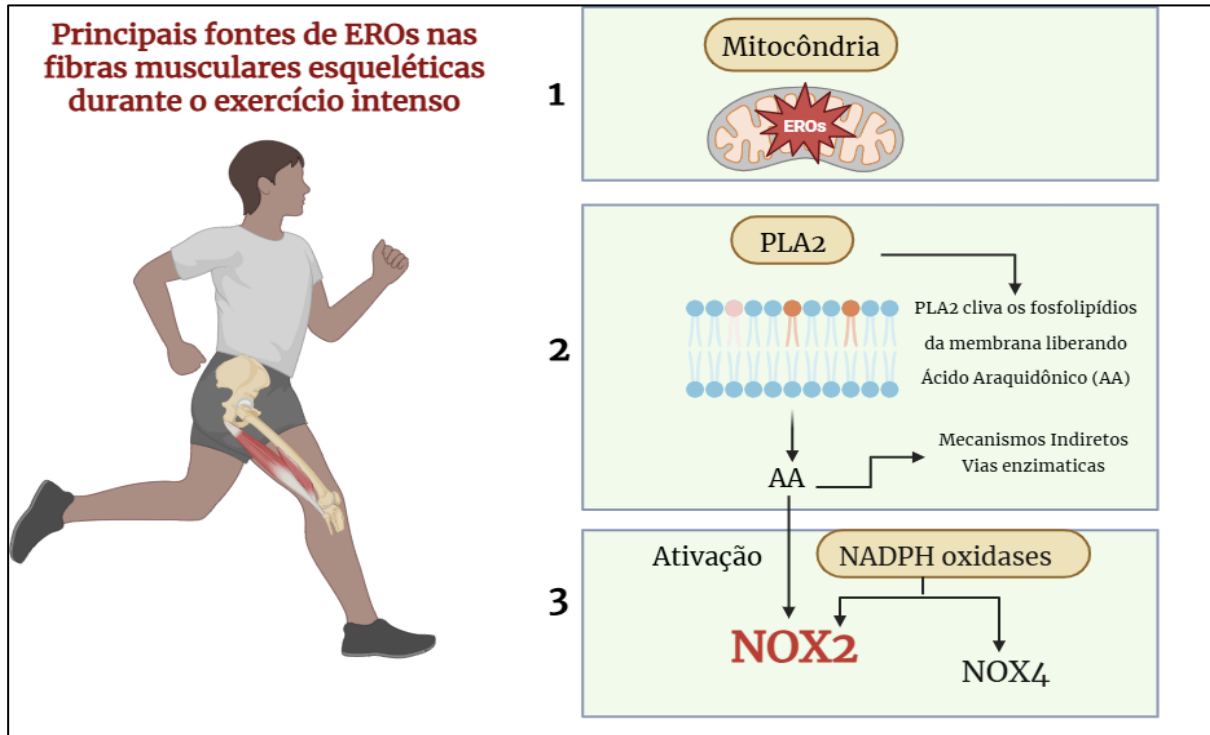
O exercício físico de alta intensidade aumenta substancialmente a produção de EROs em razão da elevada demanda energética e das alterações no metabolismo redox (Powers e colaboradores, 2020).

Nas fibras musculares esqueléticas, as principais fontes de EROs incluem as mitocôndrias, a fosfolipase  $A_2$  ( $PLA_2$ ) e as oxidases de nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH oxidases), com destaque para as isoformas NOX2 e NOX4 (Figura 2). Essas fontes atuam de forma integrada para responder ao estresse metabólico imposto pela contração muscular intensa (Powers e colaboradores, 2020).

As mitocôndrias contribuem para a geração de EROs pelo escape de elétrons na cadeia respiratória, embora essa participação seja relativamente menor durante a contração intensa, quando mecanismos mais imediatos são ativados (Figura 2, etapa 1). Simultaneamente, a  $PLA_2$  cliva fosfolípidios de

membrana, liberando ácido araquidônico, que origina espécies reativas por vias enzimáticas

diretas e indiretas e estimula a ativação de NADPH oxidases (Figura 2, etapa 2).



**Figura 2** - Principais fontes de EROs nas fibras musculares esqueléticas durante o exercício físico intenso. Fonte: Elaboração própria com base em Powers e colaboradores (2020) com auxílio do programa BioRender (2025).

**Legenda:** Durante o exercício intenso, o aumento da demanda energética e o desequilíbrio no metabolismo redox favorecem a produção exacerbada de EROs. As principais fontes envolvidas são: (1) as mitocôndrias, que geram EROs pelo escape de elétrons na cadeia transportadora; (2) a fosfolipase A2 (PLA2), que ao clivar os fosfolípidios da membrana libera ácido araquidônico (AA), precursor de EROs por vias enzimáticas; e (3) as NADPH oxidases, com destaque para a isoforma NOX2, considerada a principal fonte induzida pelo exercício, enquanto a NOX4 atua na produção basal de EROs.

Essa cascata converge para a NOX2, cuja atividade é fortemente induzida pelo exercício, tornando-se a principal fonte de EROs nesse contexto, enquanto a NOX4 mantém atividade constitutiva, sustentando a produção oxidativa basal (Powers e colaboradores, 2020).

Assim, a geração de EROs durante e após esforços físicos intensos resulta de uma ativação coordenada: mitocôndrias e NOX4 asseguram o nível oxidativo basal, enquanto PLA<sub>2</sub> e, sobretudo, NOX2 respondem dinamicamente ao estímulo contrátil, amplificando a produção oxidativa e determinando o nível total de EROs observadas após o exercício (Powers e colaboradores, 2020).

A caracterização do estresse oxidativo induzido pelo exercício é feita por meio de biomarcadores que refletem dano a lipídios, proteínas e DNA, além da capacidade antioxidante enzimática.

O malondialdeído (MDA) é um marcador amplamente utilizado para avaliar a peroxidação lipídica resultante do excesso de radicais livres e da insuficiência das defesas enzimáticas (Li, Wang, Yang, 2023).

A quantificação de 8 hidroxí-2'-desoxiguanosina (8 OHdG) possibilita a avaliação de lesão oxidativa ao DNA, enquanto a 8 iso-prostaglandina F2α (8-iso-PGF2α) fornece uma medida adicional da peroxidação lipídica (Shanmugasundaram, Roza, 2024).

Paralelamente, a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase



(SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GSH-Px) é monitorada para estimar a capacidade de neutralização das espécies reativas e as respostas adaptativas do tecido ao estresse oxidativo (Li, Wang, Yang, 2023).

Além dos marcadores específicos de oxidação, avaliações de lesão muscular e de resposta inflamatória são essenciais para capturar os efeitos sistêmicos do esforço extenuante.

A liberação para a circulação de creatina quinase (CK), sua isoenzima creatina quinase-MB (CK-MB), e lactato desidrogenase (LDH) indica rompimento membranar e microlesões musculares, enquanto o aumento de ácido láctico (LA) e de nitrogênio ureico sanguíneo (BUN) correlaciona-se com acúmulo de metabólitos e fadiga induzida pela sobrecarga (Hooper e colaboradores 2021; Liu e colaboradores 2022).

O estresse oxidativo também estimula vias pró-inflamatórias, através da ativação do fator de transcrição nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B), que promove a expressão de citocinas como interleucina-6 (IL-6), interleucina-1-beta (IL-1 $\beta$ ) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), tornando a mensuração desses mediadores uma abordagem complementar para avaliar a intensidade e a duração da resposta inflamatória associada ao exercício (Yu e colaboradores, 2022).

Estudos experimentais reforçam a utilidade combinada desses biomarcadores para compreender a cronologia e a intensidade das alterações induzidas pelo exercício extenuante.

Pesquisas com voluntários homens submetidos a protocolos de alta intensidade documentaram aumentos significativos de MDA mantidos até uma hora após o término da atividade, indicando persistência do estresse oxidativo apesar da ativação dos mecanismos de defesa endógenos (Cho e colaboradores, 2022).

Em modelos animais, submetidos a treinamento crônico em esteira, observou-se elevação expressiva de MDA acompanhada de incremento adaptativo nas atividades de SOD e CAT; essa resposta enzimática sugere um ajuste defensivo do tecido, porém essa resposta adaptativa não supriu totalmente o dano oxidativo provocado (Liu, Wang, Wang, 2023).

Estudos clínicos com amostras maiores complementam essas evidências: um protocolo de alta intensidade aplicado a 114 indivíduos

submetidos a 100 saltos verticais máximos mostrou elevação concomitante de CK e MDA após o exercício, associada a reduções significativas na força máxima, na velocidade de desenvolvimento de força e nas potências média e máxima, evidenciando impacto funcional correlacionado com marcadores bioquímicos (Lee e colaboradores, 2022).

A convergência desses achados destaca que a avaliação do estresse oxidativo em contexto de exercício exige uma abordagem multidimensional, integrando marcadores de dano lipídico, medidas da capacidade antioxidante e indicadores de lesão muscular e inflamação.

Essa integração não apenas esclarece os mecanismos subjacentes às alterações pós exercício, mas também fundamenta estratégias de intervenção, como a investigação de compostos bioativos de origem vegetal, destinadas a atenuar o estresse oxidativo e preservar a integridade tecidual sem comprometer as adaptações fisiológicas benéficas ao treinamento.

### **Oxalis latifolia: perfil fitoquímico, atividade antioxidante in vitro e perspectivas para uso em contexto de exercício físico**

Diante dos efeitos deletérios do estresse oxidativo induzido por exercícios intensos, investiga-se o uso de compostos bioativos como alternativa para atenuar essas consequências.

A planta *O. latifolia*, conhecida popularmente como “azedinha-de-folha-larga” ou “*Oxalis mexicana*”, surge como candidata de interesse terapêutico devido ao seu perfil fitoquímico e fácil cultivo (Poudel e colaboradores, 2023).

Trata-se de uma espécie herbácea perene, nativa do México e da América Central e do Sul, de crescimento rasteiro, com folhas compostas três folíolos largos sustentados por longos pecíolos, e com capacidade de reprodução tanto vegetativa, por bulbos, quanto sexual por sementes (Draz e colaboradores 2022; Poudel e colaboradores, 2023).

Além de seu fácil cultivo, a *O. latifolia* possui múltiplas finalidades terapêuticas, incluindo o tratamento de úlceras e cicatrização de feridas, especialmente em países em desenvolvimento, onde grande parte da população não dispõe de recursos financeiros para arcar com os custos hospitalares (Hussein, Myovela, Tibuhwa, 2024).

Do ponto de vista químico, a caracterização fitoquímica das folhas revelou 33 compostos distintos com potencial terapêutico, entre eles polifenóis como flavonoides e taninos, além de alcaloides e saponinas, grupos frequentemente associados a atividades antioxidantes e anti-inflamatórias (Vignesh e colaboradores, 2025).

Para avaliação de sua atividade antioxidante, foram empregados diferentes métodos analíticos, incluindo o sequestro do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), ensaio de poder redutor do íon férrico (FRAP), e análises de quelagem de íons metálicos, incluindo a capacidade de quelar íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

Os resultados obtidos demonstraram que a *O. latifolia* possui elevada capacidade de doação de átomos de hidrogênio, eficácia na neutralização de radicais livres e relevante potencial redutor, caracterizando-a como uma fonte promissora de compostos antioxidantes de origem vegetal (Vignesh e colaboradores, 2025).

Adicionalmente, análises farmacocinéticas computacionais, indicaram que os principais compostos bioativos de *O. latifolia* apresentam boa absorção intestinal e ausência de propriedades mutagênicas ou carcinogênicas (Vignesh e colaboradores, 2025).

Tais características reforçam tanto a eficácia quanto a segurança desses metabólitos secundários em contextos pré-clínicos, fortalecendo sua viabilidade como candidatos para estudos farmacológicos mais aprofundados.

Dessa forma, considerando sua ampla gama de compostos bioativos, a segurança demonstrada em análises *in silico* e seu potencial antioxidante evidenciado em ensaios laboratoriais, a *O. latifolia* se mostra uma candidata promissora para a modulação do estresse oxidativo induzido pelo exercício físico intenso.

#### **Polifenóis na modulação do estresse oxidativo: mecanismos, evidências e implicações para *Oxalis latifolia***

Considerando a elevada concentração de polifenóis nas folhas de *O. latifolia*, esta seção sintetiza as evidências disponíveis sobre os mecanismos pelos quais esses compostos modulam o estresse oxidativo e avalia os principais achados experimentais. É importante

ressaltar desde o início que as evidências diretas envolvendo extratos padronizados de *O. latifolia* ainda são limitadas. Assim, integram-se dados mecanísticos e resultados obtidos em estudos *in vitro*, *in vivo* (em modelos animais) e ensaios clínicos com outras fontes polifenólicas, a fim de inferir implicações plausíveis para *O. latifolia* e orientar futuras investigações.

Os polifenóis são compostos fenólicos caracterizados por anéis aromáticos e grupos hidroxila, que lhes conferem capacidade de neutralizar radicais livres e quelar metais (Tamburini e colaboradores, 2025).

Essas propriedades permitem ação antioxidante direta por doação de elétrons e sequestro de íons metálicos; contudo, a eficácia direta *in vivo* tende a ser limitada pelas baixas concentrações teciduais atingidas após administração oral (Bowtell e Kelly, 2019).

Consequentemente, o mecanismo biologicamente mais relevante envolve a modulação da resposta antioxidante endógena (Ismaeel e colaboradores, 2024).

Essa resposta antioxidante endógena é majoritariamente mediada pela via Nrf2/ARE. Após a ingestão, os polifenóis promovem a estabilização do fator eritroide 2 relacionado ao fator nuclear (Nrf2), favorecendo sua translocação para o núcleo celular, onde se liga ao elemento de resposta antioxidante (ARE) e induz a expressão de genes codificadores de enzimas detoxificantes e antioxidantes (Ismaeel e colaboradores, 2024).

Entre esses genes, destaca-se a heme oxigenase-1 (HO-1), cuja expressão é regulada diretamente por Nrf2 (Li, Wang, Yang, 2023). A ativação dessa via amplia a capacidade de neutralização de EROs e aumenta a resiliência celular frente ao estresse oxidativo.

Em complemento à indução de mecanismos antioxidantes, os polifenóis exercem ação anti-inflamatória. Eles suprimem a ativação do NF- $\kappa$ B e reduzem a expressão de mediadores pró-inflamatórios, como a enzima ciclooxigenase-2 (COX-2), e citocinas inflamatórias (IL-6, IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ ), sugerindo que a inibição da via NF- $\kappa$ B/COX-2 constitui um eixo central da atividade anti-inflamatória desses compostos (Tamburini e colaboradores, 2025).

Essa ação anti-inflamatória complementa a proteção antioxidante, explicando em parte os efeitos protetores observados em contextos de esforço físico e dano oxidativo associado.

Evidências experimentais in vitro e in vivo sustentam os mecanismos moleculares descritos, demonstrando efeitos protetores consistentes sobre o tecido muscular. Estudos conduzidos em modelos animais e celulares evidenciam redução na geração de EROs, diminuição da peroxidação lipídica (MDA) e aumento das atividades de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, GSH-Px).

Tais alterações contribuem para a preservação da integridade muscular e para a melhora da capacidade adaptativa ao esforço exaustivo (Ji e colaboradores, 2024; Li, Wang, Yang, 2023; Liu e colaboradores, 2022; Wang e colaboradores, 2025; Yu e colaboradores, 2022). Como exemplo, a suplementação com kaempferol por 35 dias promoveu redução dos níveis de LA, CK, BUN e MDA, concomitantemente ao aumento das atividades de SOD e GSH-Px e à melhora do perfil lipídico, indicando menor fadiga metabólica e atenuação do dano tecidual (Ji e colaboradores, 2024).

Em modelo de envelhecimento induzido por D-galactose, extratos ricos em polifenóis de *Peucedanum praeruptorum* melhoraram o desempenho em testes de natação e corrida até a exaustão, aumentaram o conteúdo de glicogênio hepático e muscular e elevaram a atividade de SOD e GSH-Px; esses efeitos foram atribuídos à ativação da via Nrf2/HO-1 (Li, Wang, Yang, 2023). Resultados análogos foram observados com polifenóis de *Crataegus pinnatifida* e com suplementação de *Spirulina*, nos quais se verificou aumento das enzimas antioxidantes, redução da produção de EROs e preservação tecidual (Wang e colaboradores, 2025; Yu e colaboradores, 2022).

Em tais estudos, análises histológicas e bioquímicas correlacionaram alterações moleculares a ganhos funcionais, como maior conteúdo de glicogênio, regeneração muscular e reorganização hepática pós-lesão e esforço (Wang e colaboradores, 2025; Yu e colaboradores, 2022).

Estudos com extratos de *Lonicera caerulea* ilustram efeitos funcionais relevantes: a suplementação atenuou elevações induzidas pelo exercício em MDA, LDH, LA, BUN e CK, enquanto aumentou a atividade de CAT, SOD e GSH-Px, prolongou o tempo até a exaustão (de 3,98 para 9,15 minutos) e melhorou a utilização e o armazenamento de glicose, protegendo contra catabolismo muscular.

Adicionalmente, esses autores relataram inibição da formação dos complexos NOX2/NOX4, sugerindo efeito antioxidante direto sobre sistemas produtores de EROs (Liu e colaboradores, 2022).

Para além das vias antioxidantes e anti-inflamatórias, os polifenóis modulam cascatas de sinalização que participam da adaptação ao exercício.

Estudos in vitro demonstram aumento da fosforilação de quinases centrais, incluindo a fosfatidilinositol-3-quinase (PI3K), a proteína quinase B (AKT), e quinase ativada por mitógeno (MAPK) (Ji e colaboradores, 2024).

A ativação dessas cascatas cinase-dependentes desencadeia desfechos adaptativos cruciais para a resposta ao exercício: a via MAPK está implicada na regulação da biogênese mitocondrial, na promoção da angiogênese e no estímulo de processos relacionados à hipertrofia, contribuindo para a capacidade oxidativa e o remodelamento estrutural do músculo esquelético.

Simultaneamente, a fosforilação de AKT facilita a translocação de transportadores de glicose para a membrana plasmática, potencializa a síntese proteica e favorece mecanismos de sobrevivência e regeneração celular, todos essenciais para a manutenção da massa muscular e a recuperação pós-esforço (Ji e colaboradores, 2024).

Nesse contexto, também se observa regulação positiva do coativador-1-alfa do receptor gama ativado por proliferadores de peroxissoma (PGC-1 $\alpha$ ) responsável por integrar sinais energéticos e coordenar adaptações mitocondriais. A elevação de PGC-1 $\alpha$  resulta na indução de alvos transcricionais como o transportador de glicose-4 (GLUT4) e o fator de transcrição mitocondrial A (mTFA), promovendo aumento da respiração mitocondrial, maior captação de glicose e otimização do metabolismo energético celular (Ji e colaboradores, 2024).

Além dos efeitos diretos sobre o músculo e a sinalização celular, as suplementações com polifenóis demonstraram impacto benéfico sobre a microbiota intestinal. Em diferentes estudos, verificou-se promoção do equilíbrio microbiano, em especial por meio do aumento de bactérias do grupo *Lachnospiraceae\_NK4A136*, cuja presença tem sido associada a maior atividade antioxidante sistêmica (Wang e colaboradores, 2025; Yu e colaboradores, 2022).

Essas alterações na microbiota podem, por sua vez, modular respostas metabólicas e inflamatórias, contribuindo para os efeitos observados em modelos de exercício.

Evidências clínicas em humanos corroboram aspectos funcionais e fisiológicos das observações pré-clínicas. A suplementação com extrato da fração polifenólica de bergamota por três meses elevou significativamente os níveis de óxido nítrico (NO) e a razão nitrito/nitrato, favorecendo a vasodilatação e a oxigenação tecidual (Mollace e colaboradores, 2025).

Resultados similares foram obtidos com extrato de verbena de limão, que resultou na melhora da resistência aeróbica, redução nos níveis de CK até 48 horas após o exercício e diminuição de 8-OHdG na urina dos indivíduos, indicando menor dano oxidativo ao DNA (Lee e colaboradores, 2021).

Em corredores de meia maratona, uma formulação contendo extratos de semente de uva (*Vitis vinifera* L.) e casca de pinheiro (*Pinus pinaster* L.) associou-se a menor incidência de hematúria e a aumento da capacidade antioxidante total (TEAC), sugerindo proteção renal e muscular, inclusive na presença de uso

concomitante de anti-inflamatórios (Semen e colaboradores, 2020).

Em síntese, os polifenóis atuam por mecanismos complementares, incluindo a ativação da via Nrf2/ARE, a inibição de vias pró-inflamatórias (NF- $\kappa$ B e COX-2), a modulação das cascatas PI3K/AKT e MAPK, a proteção das fontes produtoras de EROs e a promoção de alterações benéficas na microbiota.

Esses efeitos convergem para a redução do estresse oxidativo e a melhora dos desfechos funcionais no exercício. Todavia, como a maior parte das evidências diretas refere-se a polifenóis de outras fontes, torna-se imprescindível conduzir estudos controlados com extratos padronizados de *O. latifolia* para determinar biodisponibilidade, respostas dose-dependentes, segurança e impacto sobre biomarcadores pós-exercício antes de qualquer recomendação terapêutica.

Dessa forma, os achados reforçam o potencial promissor dos compostos bioativos de origem polifenólica na modulação do estresse oxidativo, na atenuação da inflamação e na melhoria do desempenho físico.

Todos os estudos mencionados nesta seção estão sintetizados no Quadro 1, juntamente com investigações análogas.

seguro e eficaz dessa planta na promoção da saúde e desempenho físico.

## CONCLUSÃO

A presente revisão evidencia que o estresse oxidativo é um determinante central na resposta fisiológica ao exercício físico intenso e que compostos bioativos vegetais apresentam potencial relevante para modular essas respostas.

Entre eles, os polifenóis destacam-se por ações antioxidantes e anti-inflamatórias mediadas, principalmente, pela ativação da via Nrf2/HO-1 e pela inibição de NF- $\kappa$ B.

A *O. latifolia*, espécie tradicionalmente empregada na medicina popular e rica em polifenóis, surge como candidata promissora para aplicação em contextos esportivos.

Contudo, a validade de sua eficácia e segurança em situações de exercício ainda não foi estabelecida por estudos específicos.

Dessa forma, são necessários estudos experimentais e clínicos controlados que avaliem os efeitos da suplementação com extratos de *O. latifolia*, a fim de validar seu potencial como recurso natural na prevenção e mitigação do estresse oxidativo e da inflamação muscular induzida pelo exercício intenso. Tais investigações poderão fundamentar o uso

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Brasil (Processo nº 131476/2025-4), por meio da bolsa de Mestrado (GM) concedida a Thalyta Moreira, que permitiu a realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- 1-Bowtell, J.; Kelly, V. Fruit-derived polyphenol supplementation for athlete recovery and performance. *Sports Medicine*. Vol. 49. 2019. p. 3-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0998-x>
- 2-Cheng, X.M.; Hu, Y.Y.; Yang, T.; Wu, N.; Wang, X.N. Reactive oxygen species and oxidative stress in vascular-related diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. Vol. 2022. 2022. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7906091>

3-Cho, S.Y.; Chung, Y.S.; Yoon, H.K.; Roh, H.T. Impact of exercise intensity on systemic oxidative stress, inflammatory responses, and sirtuin levels in healthy male volunteers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 19. Num. 18. 2022. p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph191811292>

4-Draz, A.; Kwashty, S.; Shamso, E.; Hosni, H.; Hussein, S. Chemical profiling of Oxalis species growing wild in Egypt using HPLC/MS spectrometry. *International Journal of Secondary Metabolite*. Vol. 9. Num. 4. 2022. p. 426-439. DOI: <https://doi.org/10.21448/ijsm.1110807>

5-Hooper, D.R.; Orange, T.; Gruber, M.T.; Darakjian, A.A.; Conway, K.L.; Hausenblas, H.A. Broad spectrum polyphenol supplementation from tart cherry extract on markers of recovery from intense resistance exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Vol. 18. Num. 1. 2021. p. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00449-x>

6-Hussein, J.M.; Moyela, H.; Tibuhwa, D.D. Diversity of endophytic fungi from medicinal plant *Oxalis latifolia* and their antimicrobial potential against selected human pathogens. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vol. 31. Num. 4. 2024. p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2024.103958>

7-Ismaeel, A.; Mcdermott, M.M.; Joshi, J.K.; Sturgis, J.C.; Zhang, D.; Ho, K.J.; Sufit, R.; Ferrucci, L.; Peterson, C.A.; Kosmac, K. Cocoa flavanols, Nrf2 activation, and oxidative stress in peripheral artery disease: mechanistic findings in muscle based on outcomes from a randomized trial. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*. Vol. 326. Num. 2. 2024. p. 589-605.

8-Ji, X.; Zhang, C.; Jiang, M.; Tian, Y.; Voce, L.; Yang, H.; Liu, Y. Kaempferol improves exercise performance by regulating glucose uptake, mitochondrial biogenesis, and protein synthesis via PI3K/AKT and MAPK signalling pathways. *Foods*. Vol. 13. Num. 7. 2024. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13071068>

9-Jomova, K.; Raptova, R.; Alomar, S.Y.; Alwasel, S.H.; Nepovimova, E.; Kuca, K.; Valko, M. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative

stress, and antioxidants: chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology*. Vol. 97. 2023. p. 2499-2574. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03562-9>

10-Lee, M.C.; Hsu, Y.J.; Ho, C.S.; Chang, C.H.; Liu, C.W.; Huang, C.C.; Chiang, W.D. Evaluation of the efficacy of supplementation with Planox® lemon verbena extract in improving oxidative stress and muscle damage: a randomized double-blind controlled trial. *International Journal of Medical Sciences*. Vol. 18. Num. 12. 2021. p. 2641-2652. DOI: <https://doi.org/10.7150/ijms.60726>

11-Lee, M.C.; Ho, C.S.; Hsu, Y.J.; Huang, C.C. Live and heat-killed probiotic *Lactobacillus paracasei* PS23 accelerated the improvement and recovery of strength and damage biomarkers after exercise-induced muscle damage. *Nutrients*. Vol. 14. Num. 21. 2022. p. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14214563>

12-Li, B.; Wang, Y.; Yang, X. Qianhu (*Peucedanum praeruptorum* Dunn) improves exercise capacity in mice by regulating Nrf2/HO-1 oxidative stress signaling pathway. *Applied Biological Chemistry*. Vol. 66. Num. 1. 2023. p. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13765-023-00782-6>

13-Liu, S.; Meng, F.; Zhang, D.; Shi, D.; Zhou, J.; Guo, S.; Chang, X. *Lonicera caerulea* berry polyphenols extract alleviates exercise fatigue in mice by reducing oxidative stress, inflammation, skeletal muscle cell apoptosis, and by increasing cell proliferation. *Frontiers in Nutrition*. Vol. 9. 2022. p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.853225>

14-Liu, X.; Wang, X.; Wang, T. Evaluation of the impact of long-term treadmill exercise on antioxidant capacity and immune function in mice. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. Vol. 30. Num. 1. 2023. p. 107-115. DOI: <https://doi.org/10.9775/kvfd.2023.30826>

15-Mollace, R.; Macrì, R.; Serra, M.; Ritorto, G.; Ussia, S.; Scarano, F.; Cardamone, A.; Musolino, V.; Coppoletta, A. R.; Gliozzi, M.; Scipione, G.; Carresi, C.; Pozharova, K.; Muscoli, C.; Barillà, F.; Volterrani, M.; Mollace, V. The antioxidant power of bergamot polyphenolic fraction gold potentiates the effects of L-citrulline in athlete performance and vasodilation in a pilot study. *Nutrients*. Vol. 17.



Num. 7. 2025. p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17071106>

16-Poudel, A.; Adhikari, P.; Na, C.S.; Wee, J.; Lee, D.H.; Lee, Y.H.; Hong, S.H. Assessing the potential distribution of *Oxalis latifolia*, a rapidly spreading weed, in East Asia under global climate change. *Plants*. Vol. 12. Num. 18. 2023. p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12183254>

17-Powers, S.K.; Deminice, R.; Ozdemir, Y.; Yoshihara, T.; Bomkamp, M.P.; Hyatt, H. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe?. *Journal of Sport and Health Science*. Vol. 9. Num. 5. 2020. p. 415-425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>

18-Semen, K.O.; Weseler, A.R.; Janssen, M.J.W.; Drikkij-Reijnders, M.J.; le Noble, J.L.M.L.; Bast, A. Effects of monomeric and oligomeric flavanols on kidney function, inflammation and oxidative stress in runners: a randomized double-blind pilot study. *Nutrients*. Vol. 12. Num. 6. 2020. p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061634>

19-Shanmugasundaram, D.; Rozz, J.M. Assessment of anti-inflammatory and antioxidant activities of a proprietary preparation of quercetin–rutin blend (SophorOx™) in exercised rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Vol. 2024. 2024. p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/9063936>

20-Sies, H. Biochemistry of oxidative stress. *Angewandte Chemie International Edition in English*. Vol. 25. Num. 12. 1986. p. 1058-1071. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.198610581>

21-Tamburini, B.; Di Liberto, D.; Pratelli, G.; Loffredo, M.; Lauricella, M.; Carosi, D.; Maggio, A.; Palumbo Piccionello, A.; D'Anneo, A.; Cacciola, N.; Gianguzza, G. Extra virgin olive oil polyphenol-enriched extracts exert antioxidant and anti-inflammatory effects on peripheral blood mononuclear cells from rheumatoid arthritis patients. *Antioxidants*. Vol. 14. Num. 2. 2025. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox14020178>

22-Vignesh, A.; Dharani, K.; Selvakumar, S.; Vasanth, K. Phytochemical composition, in vitro cytotoxicity and in silico ADME/Tox analysis of the active compounds of *Oxalis latifolia* Kunth

extracts with promising anticancer potential. *3 Biotech*. Vol. 15. Num. 1. 2024. p. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-024-04167-4>

23-Wang, C.; Liu, H.; Zhang, S.; Ren, C.; Xu, J.; Chen, J.; Chen, H.; Wu, W. Spirulina supplementation alleviates intense exercise-induced damage and modulates gut microbiota in mice. *Nutrients*. Vol. 17. Num. 2. 2025. p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17020356>

24-Yoshikawa, T.; You, F. Oxidative stress and bio-regulation. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 25. Num. 6. 2024. p. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25063680>

25-Yu, J.; Jiang, W.; Wang, S.; Liu, S.; Shi, D.; Wang, H.; Chang, X. Microencapsulated hawthorn berry polyphenols alleviate exercise fatigue in mice by regulating AMPK signaling pathway and balancing intestinal microflora. *Journal of Functional Foods*. Vol. 97. 2022. p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105255>

26-Zhang, Y.; Li, A.; Yang, X. Effect of lemon seed flavonoids on the anti-fatigue and antioxidant effects of exhausted running exercise mice. *Journal of Food Biochemistry*. Vol. 45. Num. 4. 2021. p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13620>

Recebido para publicação em 03/11/2025  
Aceito em 30/01/2026