



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

DESPORTO E MICROBIOTA ORAL: EFEITOS NO REFORÇO DA IMUNIDADE ORAL E NA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO - REVISÃO SISTEMÁTICA

[Sport and the oral microbiota: effects on the enhancement of oral immunity and performance optimization – a systematic review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado Integrado em Medicina Dentária]

Emma Simon

Orientadora:

Doutora Amelia Assunção

Junho 2025

**DESPORTO E MICROBIOTA ORAL: EFEITOS NO REFORÇO DA
IMUNIDADE ORAL E NA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO -
REVISÃO SISTEMÁTICA**

[Sport and the oral microbiota: effects on the enhancement of oral immunity and performance optimization – a systematic review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado Integrado em Medicina Dentária]

Emma Simon

Orientadora:

Doutora Amelia Assunção

Junho 2025

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, gostaria de agradecer à Senhora Amélia Assunção por toda a ajuda que me deu na elaboração desta tese: pela sua paciência, o seu rigor e, acima de tudo, a sua generosidade!

Obrigada à Universidade Fernando Pessoa por me ter acolhido nestes cinco (curtíssimos) anos, durante os quais aprendi tanto e conheci pessoas que nunca esquecerei.

Obrigada aos meus pais, que sempre me incentivaram desde pequena e me ensinaram que o trabalho compensa sempre. Foram vocês que me ensinaram tudo.

À mamã, minha *maman chérie*, que sempre me empurrou para a frente, que sempre acreditou em mim como ninguém, e que me ensinou o quanto é importante ser uma mulher independente. Consegui, mamã, este diploma é teu. Espero que estejas orgulhosa de mim e espero conseguir retribuir tudo o que me deste.

Ao papá, meu *papou*, sempre admirei a tua força de trabalho e a tua garra. Obrigada por me incentivares, com a mamã, a seguir os meus sonhos, e por sempre me dizeres que nenhum sonho é demasiado grande e que eu era capaz de tudo na vida. Graças a ti pude fazer estes estudos, e serei eternamente grata. Hoje sei que tudo é possível e que nunca é tarde para recomeçar. Mal posso esperar para um dia retribuir tudo o que fizeste por mim.

Às minhas irmãzinhas, Clara e Salomé, obrigada por estarem sempre comigo em tudo. Mesmo que me irrite 80% do tempo, amo-vos tanto, e estou tão orgulhosa das jovens mulheres que estão a tornar-se. Vocês são o meu orgulho. Tenho saudades de viver com vocês. Mal posso esperar para voltar — mesmo que não queira ficar muito tempo hahaha. Quero muito poder ajudar-vos sempre que precisarem (e ao Gary, que também nos faz tanta falta e que fazia os meus regressos tão mais divertidos).

Ao meu tio Philippe, meu *Tonton* Philippe meu mentor, aquele que sabe mesmo tudo (e ainda me pergunto como!), que me transmitiu o amor pelas ciências desde pequenina. Tu passaste-me a tua paixão e curiosidade sem fim. Sem ti eu nunca teria conseguido fazer estes estudos — foi graças a ti que consegui passar o liceu. Devo-te muito, e posso dizer que este diploma é nosso. Tu mostraste-me que nunca é tarde para seguir os nossos sonhos — e o meu era ser doutora como tu. Prometo que vou fazer micronutrição, lol. Agora

começa a parte prática, e mal posso esperar para ter a tua ajuda nesta nova fase, como colegas!

Aos meus avós :

– À minha *Mamie* Arlette, que me faz tanta falta. Sei que estiveste ao meu lado todos os dias, com o meu *Papi* Léon e o meu tio Jean-Michel querido.

– Ao Roger e à *Mamie* Éliane, os meus avós adorados, que sempre me guiaram no bom caminho. Mal posso esperar para vos ver mais vezes agora!

– À *Tata* Corinne, ao *tonton* Daniel, às minhas primas queridas Mélanie e Cindy, que sempre estiveram do meu lado e me apoiaram naquela noite em que vos disse que queria ser dentista. Mal posso esperar para voltar a Saint-Brice todos os fins de semana.

Ao Raphaël, meu melhor amigo, Doutor Mimoun, sem quem eu nunca teria vindo para o Porto. Foste tu que me ajudaste a inscrever-me na faculdade. Sem ti, posso mesmo dizer, eu não estaria aqui. Tu ensinaste-me que tudo é possível quando nos esforçamos. Estes dois últimos anos sem ti foram difíceis, mas os três anteriores foram tão incríveis e cheios de gargalhadas que compensaram. Mal posso esperar para voltar a viver esta nova etapa contigo — desta vez, não só como irmão, mas como colega. Quem diria, depois daquele encontro em *PACES*, que chegaríamos aqui?

Às minhas melhores amigas, Eva e Tal, que não estiveram fisicamente presentes mas que são os meus pilares desde sempre. Mal posso esperar para vos reencontrar em Paris. Acompanharam-me ao longo de todo o percurso, e serei eternamente grata. Quero muito continuar esta aventura convosco ao meu lado.

À Savanna, sem quem eu não teria tido tantas gargalhadas do primeiro ao terceiro ano.

À minha amiga Léa, que muito em breve será minha colega.

E obrigada ao Porto, mesmo que tenhamos reclamado de ti mil vezes... eu sei que no fundo vais deixar saudades. Mas voltarei, com a minha futura família, tenho a certeza.

Obrigada a todos. Se hoje estou aqui, é graças a vocês. E isto é só o começo.

RESUMO

Nos seres humanos, a microbiota oral é um dos ecossistemas microbianos mais diversificados, compreendendo mais de 700 espécies bacterianas. Cada indivíduo tem um perfil microbiano único, moldado por factores ambientais e fisiológicos. Entre estes, a atividade física está a emergir como um modulador-chave da composição microbiana oral e da função imunitária. Embora a maior parte da investigação existente se tenha centrado na microbiota intestinal, a cavidade oral, enquanto ambiente dinâmico da mucosa, continua a ser pouco explorada neste contexto; **Objetivo:** Esclarecer se a atividade física contribuiu para o aumento da imunidade oral e para uma microbiota oral saudável. **Métodos:** Foi efectuada uma revisão sistemática da literatura utilizando o PubMed, o ScienceDirect e o Google Scholar. A investigação baseou-se numa questão PICO claramente definida e seguiu critérios de inclusão e exclusão específicos. Foram seleccionados cinco estudos que investigaram os efeitos do exercício na microbiota oral e na imunidade salivar. **Resultados:** O exercício moderado foi associado a uma melhor diversidade microbiana oral e a uma redução dos marcadores inflamatórios na saliva. Por outro lado, o treino de alta intensidade ou prolongado pareceu reduzir a diversidade microbiana e aumentar a abundância de certos géneros (por exemplo, *Prevotella*, *Veillonella*, *Oribacterium*) potencialmente associados à disbiose oral. Biomarcadores salivares do hospedeiro, como a IgA, o cortisol e a lactoferrina, assim como componentes microbianos como o lipopolissacárido (LPS), demonstraram variar de acordo com o volume e a intensidade do treino. **Conclusões:** A atividade física influencia o ecossistema oral de uma forma dependente da dose. O treino moderado regular parece promover uma microbiota mais saudável e reforçar a imunidade da mucosa, enquanto o treino excessivo pode perturbar o equilíbrio microbiano. Estes resultados realçam o potencial da monitorização da saúde oral em atletas e apoiam o interesse crescente na microbiota oral como reflexo e contribuinte para o desempenho fisiológico global.

Palavras-chave: "Microbiota Oral"; "Atividade Física"; "Imunidade"; "Saliva"; "Desempenho"; "Disbiose"

ABSTRACT

In humans, the oral microbiota is one of the most diverse microbial ecosystems, comprising over 700 bacterial species. Each individual harbours a unique microbial profile, shaped by environmental and physiological factors. Among these, physical activity is emerging as a key modulator of oral microbial composition and immune function. While most existing research has focused on the gut microbiota, the oral cavity as a dynamic mucosal environment remains underexplored in this context; **Aim:** To clarify whether physical activity contributed to enhanced oral immunity and a healthy oral microbiota. **Methods:** A systematic literature review was carried out using PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar. The research was based on a clearly defined PICO question and followed specific inclusion and exclusion criteria. Five studies were selected that investigated either the effects of exercise on oral microbiota and salivary immunity. **Results:** Moderate exercise was associated with improved oral microbial diversity and reduced inflammatory markers in saliva. Conversely, high-intensity or prolonged training appeared to reduce microbial diversity and increase the abundance of certain genera (e.g., *Prevotella*, *Veillonella*, *Oribacterium*) potentially linked to oral dysbiosis. Salivary biomarkers such as IgA, cortisol, lactoferrin, as well as microbial-derived molecules like lipopolysaccharide (LPS) have been shown to vary according to training volume and intensity. **Conclusion:** Physical activity influences the oral ecosystem in a dose-dependent manner. Regular moderate training seems to promote a healthier microbiota and strengthen mucosal immunity, whereas excessive training may disrupt microbial balance. These findings highlight the potential of oral health monitoring in athletes and support the growing interest in oral microbiota as both a reflection and contributor to overall physiological performance.

Keywords: “Oral Microbiota”; “Physical Activity”; “Immunity”; “Saliva”; “Performance”; “Dysbiosis”

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
2.1. Identificação da pergunta de investigação.....	3
2.2. Estratégia de pesquisa.....	3
2.3. Critérios de elegibilidade.....	4
2.4. Processo de seleção do estudo.....	5
2.5. Processo de extração de dados.....	5
2.6. Avaliação do risco de enviesamento.....	6
3.RESULTADOS.....	7
3.1 Pesquisa e seleção de artigos.....	7
3.2. Análise do risco de enviesamento.....	10
3.3 Análise dos artigos selecionados.....	13
3.3.1. Efeitos da atividade física na composição da microbiota.....	15
3.3.2. Efeitos da atividade física nos parâmetros imunitários salivares.....	16
4. DISCUSSÃO.....	17
4.1. Atividade física e modulação da microbiota oral.....	17
4.1.1. Efeitos na diversidade microbiana global.....	17
4.1.2. Efeitos sobre a abundância de taxa específicos.....	17
4.2 Efeitos da atividade física nos parâmetros relacionados com a imunidade oral ..	19
4.3 Imunidade oral e alterações microbianas.....	20
4.4. Interação bidirecional: apoio microbiano ao desempenho.....	21
4.5. Limitações, perspectivas e hipóteses emergentes.....	22
5. CONCLUSÃO.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fluxograma PRISMA para identificação, seleção e inclusão dos artigos.....	8
--	---

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribuição dos artigos incluídos por ano de publicação	9
Gráfico 2 Distribuição dos artigos incluídos por tipo de estudo	10

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Perigunta PICO - Análise combinada de 5 artigos	3
Tabela 2 Critérios de elegibilidade	5
Tabela 3 Critical appraisal checklist for Analytical Cross-sectional Studies	11
Tabela 4 Critical appraisal checklist for Randomized Controlled Trials.....	12
Tabela 5 Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies	13
Tabela 6 Análise dos estudos incluídos no trabalho	14

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

16S rRNA	Ácido Ribonucleico Ribossómico 16S
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AGCC / SCFAs	Ácidos Gordos de Cadeia Curta (do inglês <i>Short-Chain Fatty Acids</i>)
CFU	Unidade Formadora de Colónias
DMBT1	Glicoproteína Salivar, (do inglês <i>Deleted in Malignant Brain Tumors</i>)
ELISA	Ensaio de Imunoabsorção Enzimática
GC	Grupo de Controlo
IC	Intervalo de Confiança
IgA	Imunoglobulina A
IMC	Índice de Massa Corporal
iSeq	Plataforma de Sequenciação iSeq da Illumina
Isohelix	Kit de DNA Isohelix Buccal-Prep Plus
JBI	Instituto Joanna Briggs
LPS	Lipopolissacárido
MeSH	Títulos de Assuntos Médicos (do inglês <i>Medical Subject Headings</i>)
MiSeq	Plataforma de Sequenciação MiSeq da Illumina
Mod	Moderado
N	Não
NA	Não Aplicável
NAFLD	Doença hepática gordurosa não alcoólica (do inglês <i>Non-Alcoholic Fatty Liver Disease</i>)
pH	Potencial de Hidrogénio
PICO	População, Intervenção, Comparação, Resultado

PRG	Grupo Profissional de Rugby (do inglês <i>Professional Rugby Group</i>)
PRISMA	Itens de relatório preferidos para revisões sistemáticas e meta-análises (do inglês <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>)
PureLink	Mini Kit da PureLink Genomic DNA
QIAamp	Mini Kit da QIAamp DNA
qPCR	Reação em Cadeia da Polimerase Quantitativa
rDNA	Ácido Desoxirribonucleico Ribossômico
RR	Risco Relativo
s-IgA	Imunoglobulina A Secretora
TE	Tampão Tris-EDTA
U	Incerto
V2-V4	Regiões Variáveis 2 a 4 do Gene 16S rRNA;
vs	<i>Versus</i>
Y	Sim

1. INTRODUÇÃO

A cavidade oral liga diretamente o mundo exterior aos seus órgãos internos, expondo-a a constantes desafios microbianos, químicos e físicos.

O corpo humano é um ecossistema complexo, coabitado por triliões de microrganismos. Como Ed Yong afirmou em *I Contain Multitudes* (2016), "Se os micróbios são mais numerosos do que as células humanas, podemos perguntar-nos: quem está realmente a alojar quem?"

Outrora vistos apenas como passageiros ou potenciais ameaças, os micróbios são agora entendidos como aliados indispensáveis, formando o que tem sido apropriadamente chamado de "órgão esquecido".

Entre os vários ecossistemas microbianos, a microbiota oral é a segunda mais diversificada e densa depois do intestino (Dewhirst et al., 2010). A cavidade oral oferece múltiplos nichos distintos - dentes, fendas gengivais, língua, bochechas, palato, amígdalas - cada um deles suportando comunidades microbianas únicas. De acordo com a base de dados do microbioma oral humano, foram identificadas mais de 700 espécies bacterianas no ambiente oral, juntamente com um número crescente de espécies fúngicas e virais (Jang et al., 2021).

O exercício pode influenciar tanto a diversidade microbiana como a função imunitária oral, particularmente através de biomarcadores salivares derivados do hospedeiro, como a imunoglobulina A secretora (s-IgA) e a lactoferrina. Paralelamente, moléculas derivadas de micróbios, como o lipopolissacárido (LPS), têm sido estudadas pelo seu papel como indicadores de desequilíbrio microbiano e inflamação.

Esta revisão sistemática foi concebida para explorar estas interações. Utilizando um quadro PICO estruturado, a questão de investigação orientadora foi: Pode a atividade física melhorar a imunidade oral e pode a microbiota oral, por sua vez, apoiar a otimização do desempenho? Cinco estudos humanos originais foram selecionados através de uma pesquisa bibliográfica rigorosa no PubMed e ScienceDirect, filtrados para incluir apenas ensaios clínicos ou experimentais publicados entre 2014 e 2024. Os desenhos dos estudos variaram de ensaios cruzados aleatórios a estudos de caso-controlo e de intervenção, comparando atletas ou indivíduos fisicamente activos com controlos sedentários.

A análise centrou-se em vários parâmetros:

- Composição da microbiota, incluindo a diversidade alfa e beta e a abundância relativa da principal taxa (por exemplo, *Streptococcus*, *Prevotella*, *Veillonella*, *Rothia*);
- Marcadores imunitários salivares, nomeadamente s-IgA, lactoferrina;
- Componentes bacterianos, como o lipopolissacárido (LPS), utilizados como indicadores de inflamação;

As implicações da compreensão da relação bidirecional entre a atividade física e a microbiota oral podem ajudar a melhorar a imunidade oral através de uma intervenção não invasiva e acessível. Isto aplica-se particularmente à periodontite e infecções orais, que estão associadas à inflamação sistémica e a doenças crónicas. Tanto os atletas como as populações sedentárias podem beneficiar de uma melhor compreensão do impacto do estilo de vida no equilíbrio microbiano.

Em última análise, esta revisão tem como objetivo fornecer uma síntese abrangente dos estudos humanos existentes que exploram a forma como o exercício modula a diversidade microbiana oral e os marcadores imunitários, ao mesmo tempo que destaca as lacunas actuais e as direcções para futuras investigações. Ao fazê-lo, procura posicionar a cavidade oral não apenas como um local passivo de colonização microbiana, mas como uma interface dinâmica que reflecte - e potencialmente influencia - a saúde e o desempenho globais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Identificação da pergunta de investigação

Para esta revisão sistemática, utilizámos o método PICO (População, Intervenção, Comparação, Resultado) para definir a questão de investigação, como se mostra na Tabela 1. O quadro PICO é habitualmente utilizado em revisões sistemáticas, tal como recomendado pela Colaboração Cochrane. Este quadro ajuda a formular uma questão clínica específica e orienta o desenvolvimento de uma estratégia de pesquisa precisa. Nesta revisão, a principal questão de investigação foi:

Pode a atividade física melhorar a imunidade oral e ter impacto na microbiota oral?

Tabela 1

Pergunta PICO

População (P)	Humanos de diferentes idades e estados de saúde, desportistas ou não
Intervenção (I)	Vários programas de atividade física com ou sem intervenção dietética adicional
Comparação (C)	Estilo de vida sedentário vs. exercício
Resultado (O)	Alterações na composição da microbiota oral, biomarcadores salivares (por exemplo, s-IgA, lactoferrina, LPS), indicadores periodontais e redução da inflamação.
Pergunta PICO geral	Em diversas populações humanas, será que a atividade física regular (moderada a intensa) influencia positivamente os biomarcadores salivares e a microbiota oral em comparação com a inatividade?

2.2. Estratégia de pesquisa

Para realizar esta revisão sistemática, foi efectuada uma pesquisa bibliográfica em duas grandes bases de dados: PubMed e ScienceDirect. O objetivo era identificar publicações científicas centradas na relação entre a atividade física e a microbiota oral.

A estratégia de pesquisa foi desenvolvida utilizando combinações de palavras-chave em inglês, alinhadas com termos MeSH (Medical Subject Headings) para garantir uma pesquisa direcionada e abrangente. Os seguintes termos foram utilizados individualmente ou combinados com o operador booleano AND:

"Microbiota oral E Exercício", "Atletas E Saúde Oral", "Desempenho E Imunidade", "Disbiose oral E Sedentarismo".

Os filtros foram aplicados para limitar os resultados a:

- Artigos originais (estudos clínicos ou experimentais),
- Publicados nos últimos 10 anos (2014-2024),
- Escritos em inglês, francês,
- Focados em seres humanos, com exceções para modelos translacionais complementares (por exemplo, estudos em animais).

A seleção dos artigos seguiu critérios de elegibilidade predefinidos com base no quadro PICO e nos objectivos da revisão. Após identificação e remoção de duplicados, os títulos e resumos foram seleccionados, seguindo-se uma leitura do texto integral dos artigos potencialmente relevantes.

2.3. Critérios de elegibilidade

Para garantir a relevância científica e o rigor desta revisão sistemática, foram definidos critérios de inclusão e exclusão.

Incluímos estudos originais que avaliaram a microbiota oral de adultos ou atletas fisicamente activos, bem como os que analisaram o impacto do exercício físico na composição microbiana oral, na imunidade local ou no desempenho desportivo

Tabela 2

Critérios de elegibilidade

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Tipos de estudo: Estudos transversais analíticos, estudos de coorte ou séries de casos	Revisões da literatura
Estudos envolvendo seres humanos (adultos ou atletas), com avaliações da microbiota oral	Estudos sobre populações pediátricas ou idosas
Estudos de avaliação do exercício e/ou de intervenções nutricionais)	Estudos em animais sem dados comparativos em humanos
Artigos publicados entre 2014 e 2024	Artigos sem dados específicos sobre a microbiota oral
Artigos de texto integral em inglês	

2.4. Processo de seleção do estudo

A seleção dos estudos seguiu as diretrizes PRISMA. Após a remoção de duplicados com o método Mendeli, dois revisores independentes examinaram os títulos e resumos com base nos critérios de inclusão. As divergências foram resolvidas por discussão ou por um terceiro revisor. Os artigos considerados potencialmente elegíveis foram lidos na íntegra para confirmar a inclusão final.

2.5. Processo de extração de dados

Para cada estudo incluído, foram extraídas as seguintes informações:

Autor(es) e ano de publicação

Tipo de estudo e dimensão da amostra

Caraterísticas dos participantes (número, nível de atividade física)

Tipo de intervenção (programa de exercício, suplemento, padrão alimentar)

Método de recolha de amostras biológicas (saliva, placa bacteriana, etc.) e técnica de

Desporto e microbiota oral: efeitos no reforço da imunidade oral e na otimização do desempenho:
Revisão Sistemática

análise (16S rRNA, qPCR...)

Principais resultados medidos: composição da microbiota oral, diversidade (alfa/beta), marcadores imunitários, resultados relacionados com o desempenho

2.6. Avaliação do risco de enviesamento

O risco de viés de cada estudo foi avaliado utilizando as listas de verificação de avaliação crítica do Joanna Briggs Institute (JBI), adaptadas ao tipo de estudo (transversal, coorte ou série de casos). A maioria dos estudos incluídos foi classificada como tendo um risco de viés baixo a moderado, pelo que foram considerados aceitáveis para inclusão nesta revisão.

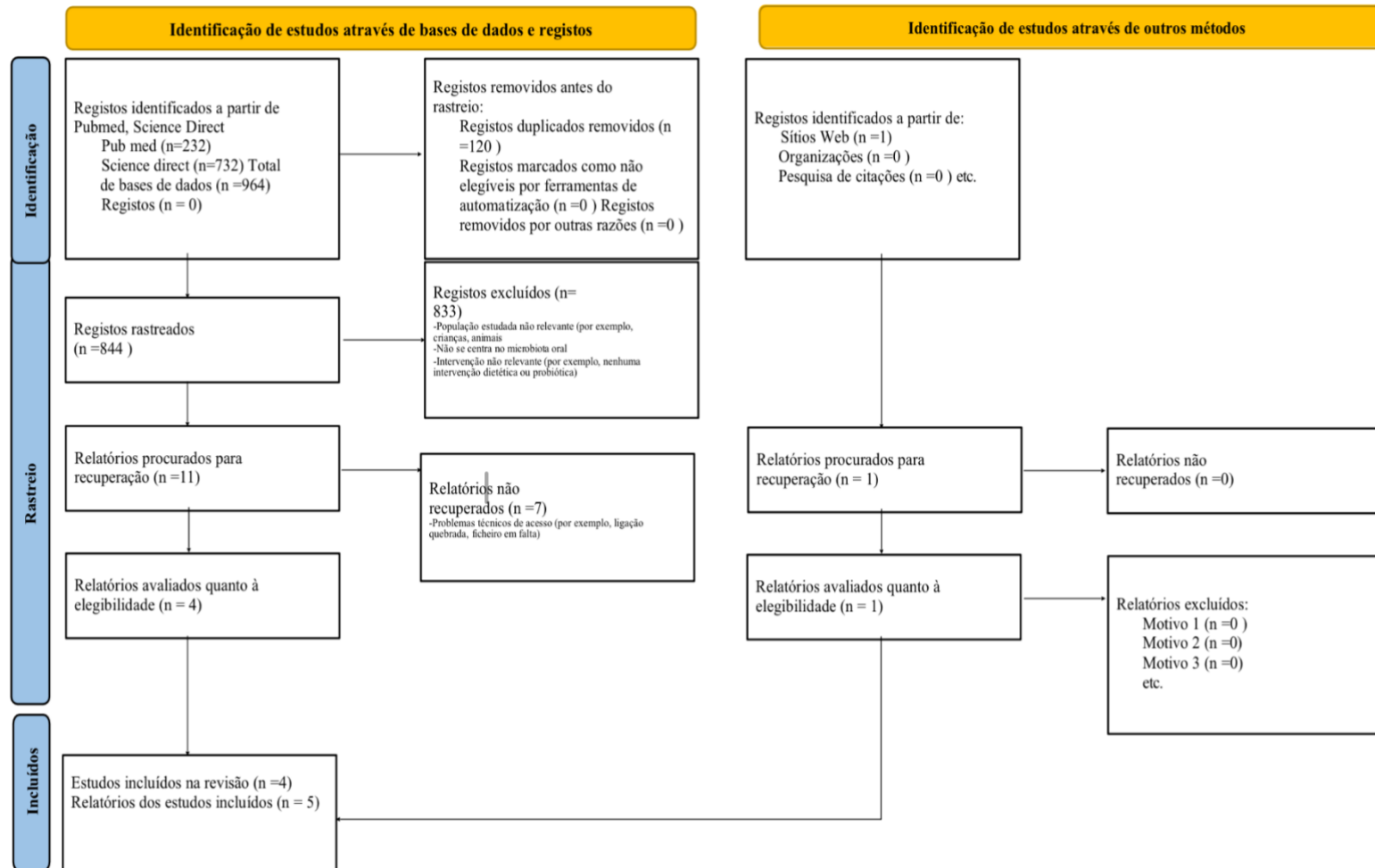
3.RESULTADOS

3.1 Pesquisa e seleção de artigos

A estratégia de pesquisa inicial, realizada através da PubMed e da ScienceDirect, identificou 964 registos. Após a remoção de 120 duplicados, 844 registos foram analisados pelo título e resumo. Destes, 700 foram excluídos pelas seguintes razões: população irrelevante (por exemplo, crianças ou animais), sem foco na microbiota oral, ou intervenções não relacionadas (por exemplo, sem componente de atividade física). Um total de 144 artigos de texto completo foi então avaliado para elegibilidade. Entre estes, 133 foram excluídos: 85 por não se centrarem na microbiota oral, 28 por não terem uma intervenção adequada e 20 por não estarem relacionados com a imunidade ou o desempenho físico. Finalmente, 5 artigos preencheram todos os critérios de inclusão e foram incluídos nesta revisão sistemática.

Figura 1

Diagrama PRISMA 2020 para novas revisões sistemáticas que incluíram investigação apenas em bases de dados e registos



Os artigos seleccionados foram publicados entre 2021 e 2024. Dois estudos foram publicados em 2021 e três em 2024 (cf. Gráfico 1). Dentre os cinco artigos incluídos, todos foram publicados nos últimos anos, indicando um interesse crescente na relação entre atividade física e microbiota oral.

Entre os cinco estudos seleccionados, dois foram classificados como estudos transversais (40%), um como ensaio de intervenção (20%), um como ensaio controlado aleatório cruzado (20%) e um como protocolo experimental (20%) (cf. Gráfico 2).

Gráfico 1

Distribuição dos artigos incluídos por ano de publicação

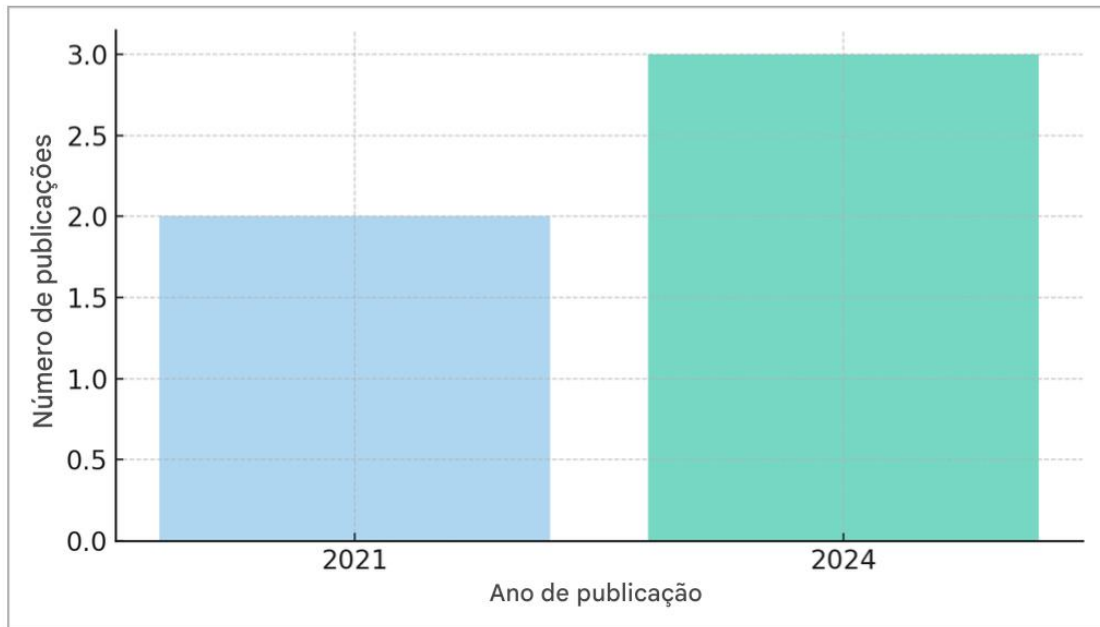
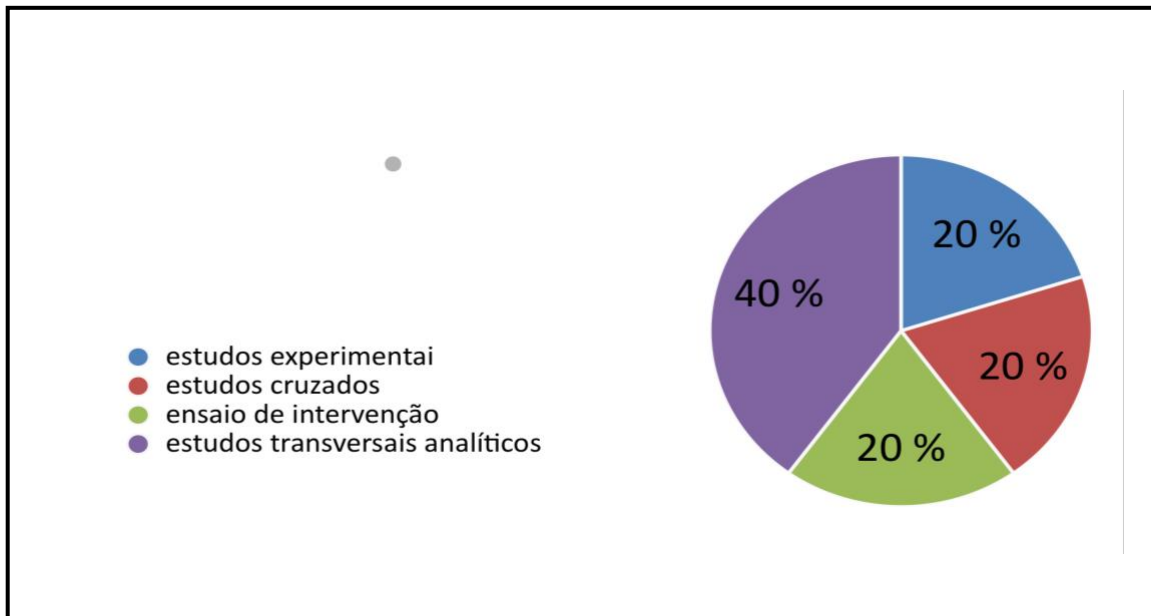


Gráfico 2

Percentagem de distribuição por tipo de estudo



3.2. Análise do risco de enviesamento

Com base nas ferramentas de avaliação crítica do JBI aplicadas para avaliar o risco de viés dos estudos incluídos, foram criadas três tabelas de avaliação de acordo com o tipo de estudo: transversal, de intervenção e experimental. A maioria dos artigos selecionados cumpriu positivamente os critérios do JBI. Portanto, pode-se concluir que a maioria dos estudos incluídos nesta revisão sistemática apresenta um baixo risco de viés. As exceções incluem os estudos de Minty et al. (2021) e Ushino et al. (2024), que foram identificados como tendo um risco moderado de viés devido a certas limitações metodológicas.

Tabela 3

Lista de verificação da avaliação crítica do JBI para estudos transversais analíticos

JBI Critical Appraisal Checklist for analytical Cross-sectional studies	Minty et al. (2021)	Veneruso et al. (2024)
Were the criteria for inclusion in the sample clearly defined?	Y	Y
Were the study subjects and the setting described in detail?	Y	Y
Was the exposure measured in a valid and reliable way?	Y	Y
Were objective, standard criteria used for measurement of the condition?	Y	Y
Were confounding factors identified?	U	Y
Were strategies to deal with confounding factors stated?	Y	Y
Were the outcomes measured in a valid and reliable way?	Y	Y
Was appropriate statistical analysis used?	Y	Y
Pontuação	7/8	8/8
Risco de viés	Baixo	Baixo

Nota: Y, Yes; N, No; U, Unclear; NA, Not Applicable.

Tabela 4

Lista de verificação de avaliação crítica do JBI para ensaios clínicos aleatórios controlados

JBI Critical Appraisal Checklist for Randomized Controlled trials	Tan et al. (2024)	Uchida et al. (2021)
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	Y	Y
2. Was allocation to treatment groups concealed?	Y	U
3. Were treatment groups similar at the baseline?	Y	Y
4. Were participants blind to treatment assignment?	Y	N
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	Y	N
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	Y	U
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	Y	Y
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	Y	Y
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	Y	Y
10. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	Y	Y
11. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	Y	Y
12. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	Y	Y
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design accounted for in the conduct and analysis of the trial?	Y	Y
Pontuação	13/13	11/13
Risco de viés	Baixo	Mod.

Nota: Y, Yes; N, No; U, Unclear; NA, Not Applicable; Mod, Moderado

Tabela 5

Lista de verificação de avaliação crítica do JBI para estudos quase-experimentais

JBI Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies	Ushino et al. (2024)
1. Is it clear in the study what is the ‘cause’ and what is the ‘effect’ (i.e. there is no confusion about which variable comes first)?	Y
2. Were the participants included in any comparisons similar?	Y
3. Were the participants included in any comparisons receiving similar treatment/care, other than the exposure or intervention of interest?	Y
4. Was there a control group?	N
5. Were there multiple measurements of the outcome both pre and post the intervention/exposure?	U
6. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	Y
7. Were the outcomes of participants included in any comparisons measured in the same way?	Y
8. Were outcomes measured in a reliable way?	Y
9. Was appropriate statistical analysis used?	Y
Pontuação	8/9
Risco de viés	Baixo

Nota: Y, Yes; N, No; U, Unclear; NA, Not Applicable.

3.3 Análise dos artigos selecionados

Os cinco estudos incluídos nesta revisão apresentam uma variedade de populações e protocolos de estudo. As populações variaram de atletas profissionais e de elite a indivíduos sedentários e não treinados, incluindo um grupo com comorbilidades (obesidade e Non alcoholic Fatty Disease (NAFLD)). A maioria dos estudos utilizou a sequenciação do 16S rRNA para analisar a microbiota oral, e alguns incorporaram marcadores imunitários salivares, como a IgA secretora ou o cortisol. Um resumo das características dos estudos é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6

Descrição dos dados e resultados dos artigos incluídos nesta revisão.

Autores (Ano)	Tipo de estudo	Número de participantes	Recolha de amostras	Parâmetros avaliados	Processamento de amostras	Resultados clínicos	Resultados microbiológicos
Minty et al. (2021)	Estudo comparativo transversal	33 atletas profissionais e 30 controlos	Saliva estimulada colhida de manhã depois de mastigar um bloco de parafina estéril, armazenada a -80°C.	Composição taxonómica da microbiota oral por sequenciação do 16S rRNA	Cultura bacteriana e sequenciação do rDNA 16S (V2-V4) utilizando Illumina MiSeq; metagenómica prevista com Piphillin.	Não aplicável	Diferenças na composição bacteriana entre grupos; alterações da microbiota oral associadas à inflamação (por exemplo, ++ <i>Prevotella</i>)
Uchida et al. (2021)	Estudo de intervenção controlado e aleatório (programa de exercício vs dieta)	70 homens obesos (idade média 46,5) com NAFLD e periodontite	Saliva não estimulada recolhida na linha de base e após 12 semanas de intervenção	Diversidade alfa/beta; abundância de <i>Prevotella</i> ; LPS salivar	Extração de ADN através do kit QIAamp; sequenciação de 16S rRNA; medições de LPS, citocinas, s-IgA e lactoferrina	Melhoria da função hepática, do IMC e da inflamação periodontal no grupo de exercício	↑ diversidade microbiana; ↓ <i>Prevotella</i> , LPS e lactoferrina; ↑ s-IgA após o exercício
Veneruso et al. (2024)	Estudo comparativo transversal (atletas vs controlos sedentários)	13 jogadores de elite de pólo aquático e 19 controlos sedentários, com idades compreendidas entre os 20 e os 27 anos	Saliva não estimulada recolhida após a época de competição	Diversidade alfa/beta; abundância de géneros bacterianos	Amostras armazenadas a -20°C; extração de ADN utilizando um kit PureLink; sequenciação 16S V3-V4	Não aplicável	↓ riqueza/eventualidade em atletas; ↑ <i>Oribacterium</i> e <i>Veillonella</i>
Tan et al. (2024)	Ensaio aleatório cruzado e controlado	15 atletas de desportos de equipa do sexo feminino, com idades compreendidas entre os 18 e os 35 anos	Saliva pré/pós exercício sob nitrato vs placebo	Diversidade microbiana; bactérias redutoras de nitratos; testes cognitivos	ADN extraído com o kit Isohelix Buccal-Prep; sequenciação V3-V4 16S rRNA com Illumina iSeq; purificado com o kit Qiagen.	Nenhum efeito sobre o desempenho cognitivo	Nenhuma alteração significativa na microbiota em todas as condições
Ushino et al. (2024)	Protocolo experimental de medidas repetidas	12 homens não treinados, com idades compreendidas entre os 18 e os 23 anos	Saliva antes/depois de protocolos de ciclismo (intensidade/duração variadas)	níveis de s-IgA; concentração de cortisol; taxas de secreção	Colheita controlada; ELISA para s-IgA; imunoensaio para cortisol	↓ s-IgA e ↑ cortisol após esforço de alta intensidade/prolongado	Sem análise da microbiota; apenas marcadores imunitários avaliados

Abreviaturas: 16S rRNA = ácido ribonucleico ribossómico 16S; rDNA = ADN ribossómico; V2-V4 = regiões variáveis 2 a 4 do gene 16S rRNA; MiSeq = plataforma de sequenciação MiSeq da Illumina; CFU = unidade formadora de colónias; TE = tampão Tris-EDTA; iSeq = plataforma de sequenciação iSeq da Illumina; QIAamp = QIAamp DNA Mini Kit; Isohelix = Isohelix Buccal-Prep Plus DNA Kit; PureLink = PureLink Genomic DNA Mini Kit; LPS = lipopolissacarídeo; s-IgA = imunoglobulina A secretora; ELISA = ensaio de imunoabsorção enzimática; IMC = índice de massa corporal; UFC = unidade formadora de colónias; TE = tampão Tris-EDTA.

3.3.1. Efeitos da atividade física na composição da microbiota

Entre os cinco estudos incluídos nesta revisão, quatro investigaram o impacto da atividade física na composição da microbiota oral.

No artigo de Minty et al. (2021), foi utilizado um desenho de caso-controlo para comparar 24 jogadores profissionais de rãguebi (PRG) com 22 controlos sedentários. Os autores observaram uma diminuição significativa na diversidade microbiana no grupo de atletas (índice de Shannon: $3,32 \pm 0,62$ vs $3,79 \pm 0,68$; $p = 0,03$), bem como um aumento notável na abundância relativa do género *Streptococcus* ($58,43\% \pm 16,84$ em PRG vs $42,60\% \pm 17,45$ em CG; $p = 0,005$). Várias espécies acidogénicas, como *S. mutans*, *S. sobrinus* e *S. thermophilus*, foram significativamente mais abundantes nos atletas, sugerindo uma mudança para uma microbiota mais cariogénica. O género *Rothia* também foi elevado no PRG ($13,95\% \pm 8,67$ vs $5,80\% \pm 6,19$; $p < 0,0001$), enquanto os géneros tipicamente associados ao equilíbrio microbiano, como *Neisseria* e *Fusobacterium*, foram reduzidos. Veneruso et al. (2024) compararam jogadores de elite de pólo aquático com controlos sedentários de idade equivalente. Encontraram uma diminuição na diversidade alfa e um aumento na abundância relativa de *Veillonella* e *Oribacterium* no grupo de atletas. Sabe-se que a *Veillonella* utiliza o lactato produzido durante o esforço muscular intenso, convertendo-o em ácidos gordos de cadeia curta, que podem influenciar o pH oral local e o desenvolvimento do biofilme. A *Oribacterium*, embora menos caracterizada, tem sido associada à inflamação periodontal, e a sua presença em maior abundância pode refletir disbiose em atletas após treino intenso.

Tan et al. (2024) investigaram atletas femininas treinadas num estudo cruzado aleatório que envolveu duas sessões de exercício: uma com suplementação de nitrato e outra com placebo. Não foram observadas diferenças significativas na composição microbiana entre as duas condições. No entanto, a microbiota oral desta população atlética mostrou a presença de géneros redutores de nitrato, como *Neisseria* e *Rothia*, que estão envolvidos no metabolismo do óxido nítrico e na homeostasia oral.

No estudo de Uchida et al. (2021), 45 participantes obesos do sexo masculino com doença periodontal e doença hepática gordurosa não alcoólica (NAFLD) foram distribuídos aleatoriamente por um grupo de exercício aeróbico e um grupo apenas com dieta. Após 12 semanas de treino físico, o grupo de exercício físico mostrou um aumento na diversidade alfa e beta, juntamente com uma redução na abundância de *Prevotella*.

Prevotella é um género frequentemente associado à inflamação oral crónica e ao desequilíbrio microbiano, e a sua diminuição pode refletir uma restauração da homeostase microbiana em resposta ao exercício.

3.3.2. Efeitos da atividade física nos parâmetros imunitários salivares

Biomarcadores salivares como s-IgA, lactoferrina e cortisol são fundamentais na medição da imunidade oral e do stress. Dois estudos examinaram a forma como estes parâmetros salivares se alteram com a atividade física.

Em Uchida et al. (2021), foram medidos indicadores salivares do hospedeiro e a composição da microbiota, tal como descrito anteriormente. Foi observada uma diminuição dos níveis de lactoferrina salivar no grupo de intervenção. Além disso, os resultados indicaram que os participantes que praticavam atividade física regular apresentavam níveis mais elevados de s-IgA e níveis mais baixos de cortisol em comparação com os controlos sedentários. Por fim, foi observada uma redução significativa dos níveis de lipopolissacárido salivar (LPS) no grupo de exercício físico, em comparação com o grupo que fez apenas dieta. O LPS é um componente da membrana externa das bactérias Gram-negativas e serve como marcador de inflamação local e sistémica. A sua redução sugere um potencial efeito anti-inflamatório da atividade física regular no ambiente oral.

Ushino et al. (2024) efectuaram uma das investigações mais específicas das respostas imunitárias salivares. Num protocolo de medidas repetidas envolvendo doze participantes masculinos não treinados, analisaram os efeitos de sessões de ciclismo de intensidade e duração variáveis. A saliva foi recolhida imediatamente antes, durante e após as sessões. Os resultados mostraram uma diminuição clara e dependente da intensidade da s-IgA, acompanhada de um aumento do cortisol salivar após as sessões mais extenuantes. Foi observada uma correlação inversa significativa entre os níveis de s-IgA e o cortisol, indicando que o stress fisiológico elevado pode suprimir a função imunitária da mucosa.

4. DISCUSSÃO

4.1. Atividade física e modulação da microbiota oral

4.1.1. Efeitos na diversidade microbiana global

Nos estudos incluídos nesta revisão, a atividade física parece ter efeitos divergentes na diversidade microbiana oral, dependendo da sua intensidade, duração e contexto. O treino aeróbico moderado, tal como observado em Uchida et al. (2021), foi associado a um aumento da diversidade alfa e beta, apontando para um ecossistema microbiano mais estável e resiliente. Isto apoia a hipótese de que a atividade física regular e controlada contribui para manter ou aumentar a riqueza microbiana na cavidade oral.

Em contrapartida, estudos que envolveram atletas de elite, como Minty et al. (2021) e Veneruso et al. (2024), documentaram uma redução significativa da diversidade microbiana, particularmente nas medidas de diversidade alfa. Esta tendência pode refletir os efeitos cumulativos do stress fisiológico, restrições alimentares ou desafios imunitários repetidos associados ao treino atlético de alto nível. Uma explicação potencial reside no facto de o treino intenso poder criar um ambiente seletivo que favorece a dominância de determinada taxa em detrimento da diversidade global.

Estes padrões opostos levantam a possibilidade de um efeito de limiar, em que a atividade moderada aumenta a diversidade microbiana, enquanto o exercício excessivo ou de alta intensidade exerce a influência oposta. Esta interpretação sugere que o exercício não exerce um efeito uniforme na ecologia microbiana oral, mas que, em vez disso, interage com a fisiologia do hospedeiro de uma forma dependente da dose. Esta complexidade realça a necessidade de mais estudos que comparem regimes de exercício e monitorizem mudanças microbianas longitudinais em condições controladas.

4.1.2. Efeitos sobre a abundância de taxa específicos

Para além da diversidade geral, vários estudos documentaram alterações induzidas pelo exercício na abundância relativa de géneros bacterianos específicos. Estas modificações ao nível dos taxa oferecem uma perspetiva das adaptações funcionais do ecossistema oral em condições fisiológicas variáveis.

Uma descoberta recorrente em vários estudos é o aumento da abundância de *Prevotella* em indivíduos fisicamente activos. Minty et al. (2021) e Veneruso et al. (2024) relataram uma maior abundância relativa de *Prevotella* em atletas de elite. Embora a *Prevotella* esteja frequentemente associada a dietas ricas em proteínas e hidratos de carbono, também tem sido associada à inflamação da mucosa e ao desequilíbrio microbiano quando está sobre-representada. A sua expansão nos atletas pode refletir tanto a ingestão alimentar como o stress imunológico induzido pelo exercício.

Em contrapartida, Uchida et al. (2021) observaram uma redução da *Prevotella* após exercício aeróbico moderado em participantes obesos. Este declínio, juntamente com a melhoria da diversidade microbiana, sugere que a *Prevotella* pode servir como um biomarcador de desequilíbrio, atenuado através do treino físico estruturado.

Outro género interessante é o *Veillonella*, relatado como elevado no grupo de atletas em Veneruso et al. (2024). A *Veillonella* metaboliza o lactato - um subproduto da atividade muscular - em ácidos gordos de cadeia curta, como o propionato, que possuem propriedades anti-inflamatórias. Isto pode indicar uma forma de adaptação microbiana que apoia a recuperação do hospedeiro e a resiliência dos tecidos locais. No entanto, tais interpretações permanecem especulativas e requerem validação funcional.

De forma semelhante, verificou-se que *Oribacterium* é mais abundante em atletas (Veneruso et al., 2024). Embora menos caracterizado, este género tem sido associado a fases iniciais da inflamação periodontal (Lira-Junior et al., 2021; Griffen et al., 2012), e a sua presença pode refletir alterações no equilíbrio microbiano induzidas por cargas de treino crónicas.

A *Oribacterium*, que também foi encontrada enriquecida em atletas no mesmo estudo, está menos bem caracterizada. Alguma literatura sugere a sua associação com a inflamação periodontal, enquanto descobertas recentes propõem uma possível ligação entre a abundância de *Oribacterium* e a expressão de DMBT1 - uma glicoproteína salivar implicada na saúde oral e na defesa antimicrobiana (Veneruso et al., 2024). Embora não tenha sido diretamente avaliada em populações de atletas, esta associação sugere o papel da *Oribacterium* como um potencial biomarcador do estado imunitário ou da saúde das mucosas.

Além disso, tanto a *Prevotella* como a *Oribacterium* têm sido implicadas em doenças periodontais. As espécies de *Prevotella* estão frequentemente associadas a condições

inflamatórias do periodonto, particularmente no contexto de desequilíbrio microbiano. A sua sobre-representação em atletas pode indicar uma mudança para um perfil mais patogénico se não for contrariada por taxa protectoras ou por uma imunidade robusta da mucosa. Do mesmo modo, a *Oribacterium* tem sido associada à inflamação periodontal precoce e tem sido proposta como um potencial biomarcador de resposta terapêutica, dada a sua correlação com a expressão salivar de proteínas antimicrobianas como a DMBT1. A sua presença em níveis elevados entre os atletas pode assim refletir uma inflamação em fase inicial ou um mecanismo de adaptação a um stress oral elevado.

Em conjunto, estas alterações ao nível dos táxons ilustram o potencial da atividade física para atuar como uma pressão selectiva sobre a microbiota oral. Enquanto alguns géneros podem conferir benefícios metabólicos ou imunológicos, outros podem sinalizar uma mudança para a disbiose, especialmente em condições de treino excessivo.

4.2 Efeitos da atividade física nos parâmetros relacionados com a imunidade oral

Vários estudos incluídos nesta revisão examinaram a forma como a atividade física influencia os biomarcadores salivares derivados do hospedeiro, que desempenham um papel essencial na defesa imunitária oral. O foco na saliva s-IgA, lactoferrina e citocinas inflamatórias permite uma melhor compreensão de como o exercício pode modular os parâmetros imunitários que moldam indiretamente a microbiota oral.

A atividade aeróbica moderada tem sido associada a uma regulação positiva da imunidade da mucosa. Uchino et al. (2024) registaram um aumento significativo nas concentrações de s-IgA após várias semanas de treino estruturado. Sabe-se que a IgA secretora neutraliza os agentes patogénicos, regula as populações comensais e impede a adesão microbiana às superfícies epiteliais. A sua elevação pode, portanto, contribuir para manter a homeostase microbiana na cavidade oral, particularmente durante o aumento da exigência física.

Por outro lado, o esforço físico intenso ou prolongado pode ter efeitos imunossupressores. Ushino et al. (2024) registaram uma diminuição transitória da s-IgA e um aumento do cortisol salivar após ciclismo de alta intensidade. Uma vez que o cortisol estimula a secreção de s-IgA, esperava-se uma correlação negativa entre estes dois parâmetros. Esta resposta é consistente com o conceito de supressão imunitária induzida pelo exercício, que pode criar janelas de vulnerabilidade para desequilíbrios ou infecções microbianas.

Coletivamente, estas descobertas apoiam o ponto de vista de que os biomarcadores salivares não reflectem apenas a intensidade do exercício, mas podem também servir como intermediários que ligam a atividade física a alterações na microbiota oral. Esta compreensão é particularmente relevante no contexto da saúde oral, uma vez que as cargas de treino ideais podem ajudar a preservar a imunidade da mucosa e reduzir o risco de desequilíbrio microbiano ou complicações periodontais).

4.3 Imunidade oral e alterações microbianas

Para além das alterações na composição microbiana induzidas pela atividade física, o sistema imunitário do hospedeiro - particularmente a imunidade da mucosa - desempenha um papel central na formação da microbiota oral. Embora não tenham sido abordados nos estudos incluídos nesta revisão, vários biomarcadores salivares afectados pelo exercício, como a s-IgA, a lactoferrina e as citocinas inflamatórias, podem, por sua vez, influenciar a seleção, a adesão e a tolerância microbianas.

A s-IgA é uma das imunoglobulinas mais importantes envolvidas na homeostase oral. A sua capacidade de se ligar a antígenos microbianos e impedir a colonização permite uma pressão selectiva que apoia as espécies comensais e limita as espécies patogénicas. O aumento observado na s-IgA após exercício aeróbico moderado (Uchida et al., 2021) pode, portanto, favorecer um perfil microbiano mais equilibrado, aumentando a estabilidade ecológica. Esta relação ilustra como o reforço imunitário induzido pelo exercício pode contribuir para moldar o ecossistema microbiano de uma forma benéfica.

A lactoferrina, um biomarcador salivar fundamental, é uma glicoproteína de ligação ao ferro com propriedades antimicrobianas e um papel na defesa imunitária do hospedeiro. Embora exerça efeitos anti-inflamatórios em condições fisiológicas, os seus níveis salivares elevados são geralmente interpretados como um marcador de inflamação ativa, uma vez que a lactoferrina é segregada pelos neutrófilos durante as respostas inflamatórias. Em Uchida et al. (2021), os participantes do grupo de exercício tiveram uma redução significativa nas concentrações salivares de lactoferrina, o que pode refletir uma diminuição da inflamação periodontal após a intervenção de atividade física.

Em contraste, a diminuição da s-IgA e o aumento do cortisol observados em Uchino et al. (2024) sugerem que o esforço físico intenso ou prolongado pode suprimir transitoriamente a proteção imunitária oral. Esta redução da imunidade da mucosa

poderia, em teoria, aumentar o risco de desequilíbrio microbiano e promover processos inflamatórios. Embora a composição da microbiota não tenha sido avaliada neste estudo, as alterações imunológicas observadas fornecem evidências indirectas de uma barreira imunitária salivar menos eficaz.

Estas descobertas são particularmente relevantes para a saúde periodontal, onde tanto a IgA secretora como a lactoferrina desempenham papéis cruciais na limitação da colonização bacteriana e na modulação das respostas inflamatórias do hospedeiro. A sua desregulação - seja por supressão ou excesso de secreção - pode alterar o ambiente imunitário oral e afetar a capacidade do hospedeiro para controlar os agentes patogénicos periodontais. Isto realça a relação complexa e bidirecional entre a atividade física, os marcadores imunitários e a estabilidade do ecossistema oral

Em resumo, as respostas imunitárias salivares à atividade física podem não só refletir adaptações fisiológicas, mas também desempenhar um papel ativo na regulação do ecossistema microbiano oral.

4.4. Interação bidirecional: apoio microbiano ao desempenho

Embora a maioria dos estudos nesta revisão se tenha centrado na forma como a atividade física influencia a microbiota oral, as hipóteses emergentes sugerem que esta relação pode ser bidirecional. Em particular, certos taxa bacterianos podem contribuir ativamente para a modulação imunitária, efeitos anti-inflamatórios locais e potencialmente para o desempenho físico do hospedeiro.

Um dos exemplos mais discutidos é o género *Veillonella*. Conforme relatado por Veneruso et al. (2024), *Veillonella* foi enriquecido em atletas de elite e é conhecido por metabolizar o lactato - produzido durante a atividade muscular intensa - em ácidos gordos de cadeia curta (SCFAs), como o propionato. Os AGCC têm sido associados à regulação local do pH, a efeitos anti-inflamatórios e à homeostase da mucosa. Isto sugere que certas bactérias podem não só sobreviver ao stress induzido pelo exercício, mas também contribuir para a formação de um ambiente imunometabólico favorável que apoia a recuperação e a resiliência epitelial durante e após o exercício.

Em Minty et al. (2021), a microbiota oral de jogadores profissionais de rãguebi apresentou uma sobre-representação de *Prevotella*. Embora este género esteja frequentemente associado a condições pró-inflamatórias, a sua abundância em indivíduos altamente

treinados pode refletir uma adaptação microbiana repetida ou interações imunitárias, embora sejam necessárias mais provas para clarificar o seu papel.

No seu conjunto, estas observações apoiam uma mudança concetual: deixar de ver a alteração da composição da microbiota oral como uma consequência passiva do exercício para a considerar como um parceiro ativo na adaptação fisiológica. Se for comprovada por estudos funcionais, esta relação bidirecional pode abrir caminho a novas estratégias de otimização do desempenho desportivo e da saúde oral.

4.5. Limitações, perspectivas e hipóteses emergentes

Embora esta revisão identifique padrões consistentes que ligam a atividade física a alterações na microbiota oral e na imunidade da mucosa, devem ser reconhecidas várias limitações. Em primeiro lugar, o número de estudos elegíveis continua a ser limitado e existe uma heterogeneidade substancial nas metodologias, nas dimensões das amostras e nas populações. A inclusão tanto de atletas de elite como de indivíduos sedentários ou clínicos complica as comparações cruzadas e limita a generalização dos resultados.

Além disso, os tipos e intensidades de atividade física examinados diferem muito - desde programas aeróbicos moderados (por exemplo, Uchida et al., 2021) a desportos de equipa de alta intensidade (por exemplo, Minty et al., 2021 Veneruso et al., 2024). Esta diversidade introduz potenciais variáveis de confusão, incluindo diferenças na dieta, stress psicológico, ritmos circadianos e protocolos de recuperação. O perfil da microbiota foi realizado principalmente através da sequenciação do 16S rRNA, que, embora útil para uma visão geral taxonómica, carece de resolução ao nível das espécies e não fornece informações funcionais.

As análises funcionais (por exemplo, metabolómica ou transcriptómica) não foram realizadas nos estudos incluídos, limitando a nossa capacidade de inferir vias mecanicistas ou estabelecer ligações causais entre as alterações microbianas e a fisiologia do hospedeiro. Estudos futuros devem considerar a integração de tais abordagens multiómicas, que se revelaram valiosas noutros contextos (Lloyd-Price et al., 2019; Gilbert et al., 2018).

As práticas de higiene, a história dentária e outras variáveis do estilo de vida raramente são controladas ou comunicadas, apesar de estes factores poderem influenciar fortemente a composição microbiana oral. Além disso, as diferenças geográficas e dietéticas entre

coortes podem introduzir um viés sistemático.

Apesar destas limitações, a convergência dos resultados de estudos independentes sugere a existência de uma "microbiota oral associada ao exercício" distinta, caracterizada por uma maior abundância de géneros como *Veillonella* e *Prevotella* e marcadores imunitários modulados. A evidência também aponta para uma relação dose-resposta em que a atividade moderada apoia a saúde e a diversidade orais, enquanto o treino excessivo pode levar a disbiose e a imunidade comprometida.

A investigação futura deve visar protocolos mais normalizados, amostras de maior dimensão e abordagens multiómicas integradas. A exploração de metabolitos microbianos, vias de sinalização hospedeiro-micróbio e biomarcadores salivares pode revelar alvos acionáveis para melhorar o desempenho e evitar problemas de saúde relacionados com o excesso de treino.

Em última análise, a cavidade oral não deve ser vista apenas como um local secundário afetado pelos efeitos sistémicos do exercício. Em vez disso, surge como uma potencial interface reguladora onde os sinais imunitários, microbianos e metabólicos convergem em tempo real. A investigação desta interface pode oferecer novos conhecimentos sobre a forma como os sistemas biológicos localizados contribuem para o desempenho global, a recuperação e a resiliência.

Desporto e microbiota oral: efeitos no reforço da imunidade oral e na otimização do desempenho:
Revisão Sistemática

5. CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática confirma que a atividade física tem um impacto mensurável e bidirecional no ecossistema oral. O exercício regular e moderado parece promover a diversidade microbiana oral e reduzir os biomarcadores pró-inflamatórios, contribuindo para um ambiente mucoso mais resistente e equilibrado. Em contrapartida, o treino físico intenso ou prolongado pode levar a uma disbiose oral, com uma mudança para taxa pró-inflamatórios e um risco potencial de desequilíbrios periodontais.

Embora os estudos incluídos não estabeleçam conclusivamente a causalidade, sugerem fortemente que a cavidade oral responde dinamicamente às exigências fisiológicas do exercício - não só reflectindo alterações sistémicas, mas desempenhando potencialmente um papel ativo na adaptação e recuperação do hospedeiro. Além disso, os marcadores imunitários salivares modulados pela atividade física podem influenciar a seleção microbiana e a homeostasia oral, realçando uma interação complexa entre imunidade, desempenho e composição microbiana.

Estes resultados reforçam a importância de encarar a saúde oral como uma componente integral da saúde global e do desempenho atlético. Para os atletas, especialmente os expostos a cargas de treino crónicas, a monitorização dentária e os cuidados preventivos podem ser cruciais para preservar a saúde oral e sistémica.

Estudos futuros devem explorar esta relação com análises metagenómicas funcionais, protocolos de treino padronizados e coortes maiores e diversificadas. A compreensão da forma como a microbiota oral contribui para o desempenho e a recuperação pode abrir caminho a novas ferramentas de diagnóstico e estratégias personalizadas na medicina desportiva e na medicina dentária preventiva.

De uma perspetiva clínica, esta revisão sugere que a atividade física pode ser considerada um fator de estilo de vida modificável que contribui para a prevenção da doença periodontal. Uma meta-análise recente confirmou uma redução de 16% no risco de periodontite entre indivíduos fisicamente activos (Shan et al., 2023), reforçando a importância da vigilância da saúde oral em atletas.

Desporto e microbiota oral: efeitos no reforço da imunidade oral e na otimização do desempenho:
Revisão Sistemática

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dewhirst, F. E., Chen, T., Izard, J., Paster, B. J., Tanner, A. C. R., Yu, W.-H., & Wade, W. G. (2010). The human oral microbiome. *Journal of Bacteriology*, 192(19), 5002–5017. <https://doi.org/10.1128/JB.00542-10>
- Gilbert, J. A., Blaser, M. J., Caporaso, J. G., Jansson, J. K., Lynch, S. V., & Knight, R. (2018). Current understanding of the human microbiome. *Cell*, 172(6), 1055–1067. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010>
- Griffen, A. L., Beall, C. J., et al. (2012). Distinct and complex bacterial profiles in human periodontitis and health revealed by 16S pyrosequencing. *ISME Journal*, 6, 1176–1185. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.191>
- Jang, H., Park, S., Kim, M., Kim, S., Park, J., & Kim, B. (2021). Oral microbiome and systemic diseases: A bibliometric analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 10(3), 743. <https://doi.org/10.3390/jcm10030743>
- Lira-Junior, R., Figueredo, C. M., et al. (2021). Salivary microbial biomarkers in periodontal diseases. *Archives of Oral Biology*, 122, 105022. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.105022>
- Lloyd-Price, J., Mahurkar, A., Rahnavard, G., Crabtree, J., Orvis, J., Hall, A. B., ... & Huttenhower, C. (2016). The healthy human microbiome. *Nature*, 535(7610), 65–71. <https://doi.org/10.1038/nature18927>
- Minty, M. (2021). *The oral microbiota: a key player in our general health*. (Tese de doutoramento em Medicina Humana e Patologia, Universidade de Toulouse III) Paul Sabatier. <https://theses.hal.science/tel-04238452v1>
- Shan, L., Liang, M., Wen, Y., & Zhang, Y. (2023). The underlying relationship between exercise and the prevalence of periodontitis: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(3), 329–340. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13783>
- Tan, Y., Lin, W., Wang, X., & Zhu, J. (2024). Effects of nitrate supplementation on oral microbiota and cognitive performance in female athletes: A randomized controlled crossover study. *Sports Medicine and Health Science*, 6(1), 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2024.01.003>
- Uchida, Y., Okamoto, M., & Nakamura, K. (2021). Exercise intervention reduces periodontal inflammation and modifies salivary microbiota in obese patients with NAFLD. *Obesity Research & Clinical Practice*, 15(3), 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2021.05.002>
- Ushino, R., Takeda, H., & Yamamoto, S. (2024). Acute effects of high-intensity cycling on salivary immunity: A repeated measures study. *Exercise Immunology Review*, 30(1), 112–124.
- Veneruso, A., Barone, A., Coda, S., & Petruzzi, M. (2024). Comparative analysis of oral microbiota between elite water polo players and sedentary controls. *Journal of Oral Science*, 66(2), 123–134. <https://doi.org/10.2334/josnusd.23-0123>
- Yong, E. (2016). *I Contain Multitudes: The Microbes Within Us and a Grand View of Life*. New York: HarperCollins.