

Aplicações da inteligência artificial no câncer oral: uma revisão sistemática

*Applications of artificial intelligence in oral cancer:
a systematic review*

*Aplicaciones de la inteligencia artificial en el cáncer bucal:
una revisión sistemática*

Lucas Gabriel Silva Ferreira¹, Amanda Benevenuto Bezerra²,
Erick Nelo Pedreira³

1. Discente de Odontologia da Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Odontologia (FO-UFPA). Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7201-1142>

2. Cirurgiã-Dentista, Faculdade de Odontologia (FO-UFPA). Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1202-7269>

3. Cirurgião-Dentista, Doutor em Patologia Bucal, Professor Associado do curso de Odontologia, Serviço Integrado de Diagnóstico Oral e Atendimento Odontológico a Pacientes Especiais (SIDOPE), Faculdade de Odontologia (FO-UFPA), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5771-2293>

Resumo

Introdução. O diagnóstico preciso e antecipado do câncer oral permite não apenas a escolha e aplicação correta do tratamento, como também a intervenção em estágios iniciais da doença, o que contribui diretamente para um bom prognóstico do paciente. Diante desse cenário, as tecnologias se apresentam como aliadas importantes para a melhoria do diagnóstico e do tratamento dessa condição. **Objetivo.** Identificar as aplicações da Inteligência Artificial no processo de diagnóstico e tratamento de lesões orais malignas. **Método.** Esta pesquisa trata-se de uma revisão sistemática que seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA. A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, BVS, *Science Direct* e Scopus e a triagem inicial teve como base a leitura de título e resumo dos artigos encontrados. Os estudos remanescentes desta etapa foram selecionados para leitura completa no sentido de verificar a adequação com os critérios de inclusão desta revisão. Por fim, os estudos selecionados para inclusão passaram pela análise do risco de viés. **Resultados.** Foram incluídos 19 estudos nos quais os campos mais analisados foram machine learning, artificial neural network e *deep-learning* e as aplicações mais analisadas foram diagnósticos histopatológicos e previsão de diagnóstico. **Conclusão.** Embora tenha sido possível identificar as aplicações dos modelos de inteligência artificial para a finalidade estudada, fica evidente que estudos com maior qualidade de evidência precisam ser produzidos para comprovação da eficácia dessas aplicações.

Unitermos. Câncer Oral; Inteligência Artificial; Diagnóstico

Abstract

Introduction. Accurate and early diagnosis of oral cancer allows not only the correct choice and application of treatment, but also intervention in the early stages of the disease, which directly contributes to a good prognosis for the patient. Therefore, technologies are presented as important allies for improving the diagnosis and treatment of this condition. **Objectives.** To identify the applications of Artificial Intelligence in the process of diagnosis and treatment of malignant oral lesions. **Method.** This research is a systematic review that followed the guidelines of the PRISMA protocol. The search was carried out in the PubMed, BVS, *Science Direct* and Scopus databases and the initial screening was based on reading the title and abstract of the articles found. The remaining studies from this stage were selected for full reading in order to verify their adequacy with the inclusion criteria of this review. Finally, the studies selected for inclusion underwent an analysis of the risk of bias. **Results.** A total of 19 studies were included, in which the most analyzed fields were machine learning, artificial neural network and *deep-learning*, and the most analyzed applications were histopathological diagnosis and diagnostic prediction. **Conclusions.** Although it was possible to identify the

applications of artificial intelligence models for the purpose studied, it is clear that studies with higher quality evidence need to be produced to prove the effectiveness of these applications.

Keywords. Oral Cancer; Artificial Intelligence; Diagnosis

RESUMEN

Introducción. El diagnóstico preciso y precoz del cáncer bucal permite no sólo la correcta elección y aplicación del tratamiento, sino también la intervención en las primeras etapas de la enfermedad, lo que contribuye directamente a un buen pronóstico para el paciente. Ante esto, las tecnologías se presentan como aliados importantes para mejorar el diagnóstico y tratamiento de esta condición. **Objetivos.** Identificar las aplicaciones de la Inteligencia Artificial en el proceso de diagnóstico y tratamiento de lesiones bucales malignas. **Método.** Esta investigación es una revisión sistemática que siguió los lineamientos del protocolo PRISMA. La búsqueda se realizó en las bases de datos PubMed, BVS, Science Direct y Scopus y el cribado inicial se basó en la lectura del título y resumen de los artículos encontrados. Los estudios restantes de esta etapa fueron seleccionados para lectura completa con el fin de verificar su adecuación con los criterios de inclusión de esta revisión. Finalmente, los estudios seleccionados para su inclusión se sometieron a un análisis de riesgo de sesgo. **Resultados.** Se incluyeron 19 estudios en los que los campos más analizados fueron el aprendizaje automático, las redes neuronales artificiales y el aprendizaje profundo y las aplicaciones más analizadas fueron el diagnóstico histopatológico y la predicción de diagnóstico. **Conclusiones.** Si bien fue posible identificar las aplicaciones de los modelos de inteligencia artificial para el propósito estudiado, es claro que se necesitan realizar estudios con mayor calidad de evidencia para demostrar la efectividad de estas aplicaciones.

Palabras clave. Cáncer Bucal; Inteligencia artificial; Diagnóstico

Trabalho realizado na Faculdade de Odontologia (FO-UFGA). Belém-PA, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 08/01/2025

Aceito em: 19/08/2025

Endereço para correspondência: Erick N Pedreira. Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto. R. Augusto Corrêa 1. Guamá. Belém-PA, Brasil. CEP 66075-110. Email: erickpedreira@ufpa.br

INTRODUÇÃO

O câncer oral representa a 16ª doença maligna mais comum, além de se apresentar como a 15ª principal causa de morte no mundo¹. Mais de 400 mil novos casos de câncer de boca são diagnosticados por ano. A incidência desse tipo de câncer aumenta conforme a idade, sendo maior em pacientes acima de 60 anos. Apesar desta estimativa, o número de caso em pacientes abaixo dos 40 anos vem crescendo².

O câncer oral possui um prognóstico ruim, apresentando uma taxa de sobrevida de cerca de 5 anos. Por outro lado, uma vez diagnosticado nos estágios iniciais, as taxas de sobrevivência excedem os 80%³. No entanto, até

50% dos casos são diagnosticados em estágios avançados, uma vez que a maioria dos pacientes não apresenta sintomas nos estágios iniciais da doença⁴.

Diante disso, um diagnóstico precoce da doença é capaz de proporcionar um cenário diferente com relação ao prognóstico dos pacientes acometidos por essas lesões malignas. A correta identificação das lesões cancerizáveis e o devido acompanhamento da progressão dessas lesões também se configura como um fator importante para contribuir para um bom prognóstico. Um estudo de coorte retrospectivo de pacientes com leucoplasia oral demonstrou a necessidade de realização de biópsia todas as leucoplasias com o intuito de avaliar e acompanhar a progressão dessas lesões, especialmente os casos que apresentam displasia⁵.

A precisão do diagnóstico contribui diretamente para a escolha e aplicação correta do tratamento. Diversas ferramentas são constantemente testadas com o intuito de favorecer e aprimorar o processo diagnóstico, bem como a realização do tratamento, sendo uma delas a Inteligência Artificial (IA). Este termo sugere a ideia da capacidade de máquinas realizarem atividades humanas. Nesse contexto, alguns subcampos da Inteligência Artificial vêm sendo introduzidos na Odontologia⁶.

Um dos impulsionadores para a introdução dessas tecnologias na Odontologia, assim como na Medicina, é o aprimoramento do diagnóstico por imagem. A IA se mostra especialmente adequada para aumentar a eficácia, bem como superar a variabilidade e a subjetividade do exame

individual⁷. Com isso, um dos subcampos mais utilizados pela área da saúde é o aprendizado de máquina (em inglês, *machine learning*), no qual a aplicação de algoritmos tem o intuito de aprender os padrões e características estatísticas relacionadas a dados, o que permite o reconhecimento e previsão desses padrões. Essas características indicam possibilidade de aplicações satisfatórias dessas tecnologias em exames de imagem⁶.

Outro subcampo da IA é o *deep learning*, muitas vezes utilizado em conjunto com o *machine learning* também com a finalidade de melhorar a capacidade diagnóstica por meio de imagens (MUNIR et al., 2019). Em contraste com os algoritmos de *machine learning* que necessitam de uma entrada de dados categorizada com precisão, as tecnologias de *deep learning* geram suas próprias categorias dentro das camadas de redes neurais artificiais⁸.

Nesse contexto, uma vez que a profundidade da lesão, bem como seus aspectos clínicos, em certos casos, sem clareza se apresentam como desafios para um diagnóstico preciso e em tempo hábil, as tecnologias se designam não apenas como alternativas, mas também como aliadas dos profissionais na busca de um prognóstico satisfatório². Desse modo, este estudo possui como objetivo identificar, a partir de uma revisão sistemática da literatura, as aplicações da Inteligência Artificial no processo de diagnóstico e tratamento de lesões orais malignas, enfatizando a melhora do prognóstico dos pacientes acometidos.

MÉTODO

Esta revisão sistemática seguiu as diretrizes estabelecidas pelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses). Primeiramente, registrou-se o protocolo desta revisão sistemática no PROSPERO (International prospective register of systematic reviews), sob o CRD 42024510191.

A questão de pesquisa foi elaborada de acordo com a estratégia PICO, onde a população (P) foi pacientes acometidos por lesões orais malignas; a intervenção (I) foi o uso da inteligência artificial; o controle (C) se deu pela comparação com os métodos usais de abordagem e intervenção; e o desfecho (O) foi a melhora do diagnóstico, tratamento e/ou prognóstico dos pacientes estudados. Dessa forma, delineou-se a seguinte questão de pesquisa: “Qual o papel da inteligência artificial no diagnóstico, tratamento e prognóstico de lesões orais malignas?”.

Estratégia de busca

A partir dessa pergunta norteadora, foi realizada uma busca nas bases de dados da *National Library of Medicine*, USA em sua interface PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) (<https://bvsalud.org/>), *Science Direct* (<https://www.sciencedirect.com/>) e Scopus, por meio da plataforma de acesso Periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>), utilizando os descritores em ciências da saúde (MeSH/DeCS) “Artificial

Intelligence”, “Mouth Neoplasms”, “Oral Cancer” em combinação de operadores booleanos como detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Detalhes da estratégia de busca de acordo com cada base de dados.

Base de Dados	Estratégia	Filtros
PubMed	(Artificial Intelligence AND Mouth Neoplasms); (Artificial Intelligence AND Oral Cancer)	“Randomized Controlled Trial”;
BVS	(Artificial Intelligence) AND (Mouth Neoplasms) OR (Artificial Intelligence) AND (Oral Cancer)	“Ensaio clínico controlado”; “Inglês”
Science Direct	(Artificial Intelligence AND Mouth Neoplasms); (Artificial Intelligence AND Oral Cancer)	“Research Articles”; Limite temporal (a partir do ano 2000)
Scopus	(Artificial AND Intelligence AND Mouth AND Neoplasms); (Artificial AND Intelligence AND Oral AND Cancer)	Limite temporal (a partir do ano 2000); “Article”; “English”

Os estudos encontrados por meio desta estratégia de busca tiveram suas referências e informações básicas, como título, autores, ano de publicação e resumo extraídas por intermédio do Gerenciador de Referências Mendeley, a fim de facilitar o processo de seleção dos estudos. Com a ajuda dessa ferramenta, foi possível identificar e excluir os artigos duplicados.

CrITÉRIOS de inclusão e exclusão

Desse modo, foram determinados os seguintes critérios de inclusão: ensaios clínicos (randomizados e não-randomizados) publicados a partir do ano de 2000 em inglês, português ou espanhol; estudos que incluíam pacientes diagnosticados com lesões orais malignas, ou exames de imagem, ou casos de diagnóstico de acompanhamento, ou

análises histopatológicas com a utilização de tecnologias de inteligência artificial para realizar o diagnóstico e/ou tratamento das lesões.

Já os critérios de exclusão foram os seguintes: outros tipos de estudos que não se configuravam como ensaios clínicos e/ou foram publicados antes do ano de 2000 e/ou não foram publicados em inglês, português ou espanhol e/ou não utilizavam tecnologias envolvendo inteligência artificial.

Seleção dos estudos

Inicialmente, os artigos indexados nas bases de dados encontrados a partir da estratégia de busca foram analisados de acordo com as informações contidas no título e/ou no resumo a fim de verificar se os artigos se encaixavam na proposta temática desta revisão, além de observar se os mesmos se tratava de ensaios clínicos.

Após essa etapa, os estudos remanescentes foram selecionados para leitura completa, a fim de analisar de forma aprofundada a temática da pesquisa, o objetivo principal, a metodologia, as características clínicas dos participantes do estudo, a mensuração e análise dos dados com o intuito de verificar quais estudos estavam melhor construídos e mais se aproximam dos objetivos desta revisão sistemática. Os estudos selecionados nesta fase foram considerados elegíveis para inclusão e passaram pela etapa da análise do risco de viés. Este estágio de seleção dos estudos foi realizado em conjunto por ambos os pesquisadores responsáveis pela revisão.

Análise do risco de viés

O risco de viés de ensaios clínicos randomizados será determinado por meio da ferramenta *Risk of Bias 2* (RoB 2), uma ferramenta específica para avaliação do desfecho de ensaios clínicos randomizados, desenvolvida pela Cochrane. Esta etapa desta revisão foi realizada e aprovada em conjunto entre os pesquisadores, a fim de evitar discrepâncias, distorções, confusões e análises tendenciosas.

Esta ferramenta possui 5 domínios de avaliação, nos quais são avaliados o processo de randomização, os desvios das intervenções pretendidas, os dados perdidos do desfecho, a seleção dos resultados reportados e a mensuração do desfecho. Cada domínio pode ser avaliado como “alto risco de viés”, “algumas preocupações” ou “baixo risco de viés” de acordo com suas perguntas sinalizadoras.

Os ensaios clínicos não-randomizados, por sua vez, terão o risco de viés analisado por intermédio da ferramenta ROBINS-I. Esta ferramenta é direcionada a estudos não randomizados que investiguem o efeito de intervenções, isto é, estudos de coorte e estudos de caso-controle.

Extração, organização e interpretação dos dados

Após a análise do risco de viés, os estudos incluídos nesta revisão passaram pela etapa da extração de referentes às características do estudo, como autores, título, ano e local de publicação. Além disso, também foram extraídos os dados da quantidade e as características clínicas dos participantes, quantidade de participantes em cada grupo analisado,

características da aplicação e do manejo da inteligência artificial utilizada em cada estudo e qual o objetivo de sua utilização, avaliação da utilização da tecnologia para melhoria do diagnóstico e/ou tratamento e/ou prognóstico do paciente tanto nos grupos experimentais quanto nos grupos controle. Os dados extraídos foram tabulados em uma planilha virtual para acesso de todos os autores da revisão, a fim de permitir e facilitar a análise, a comparação e a construção da síntese, etapa realizada em conjunto por ambos os pesquisadores.

RESULTADOS

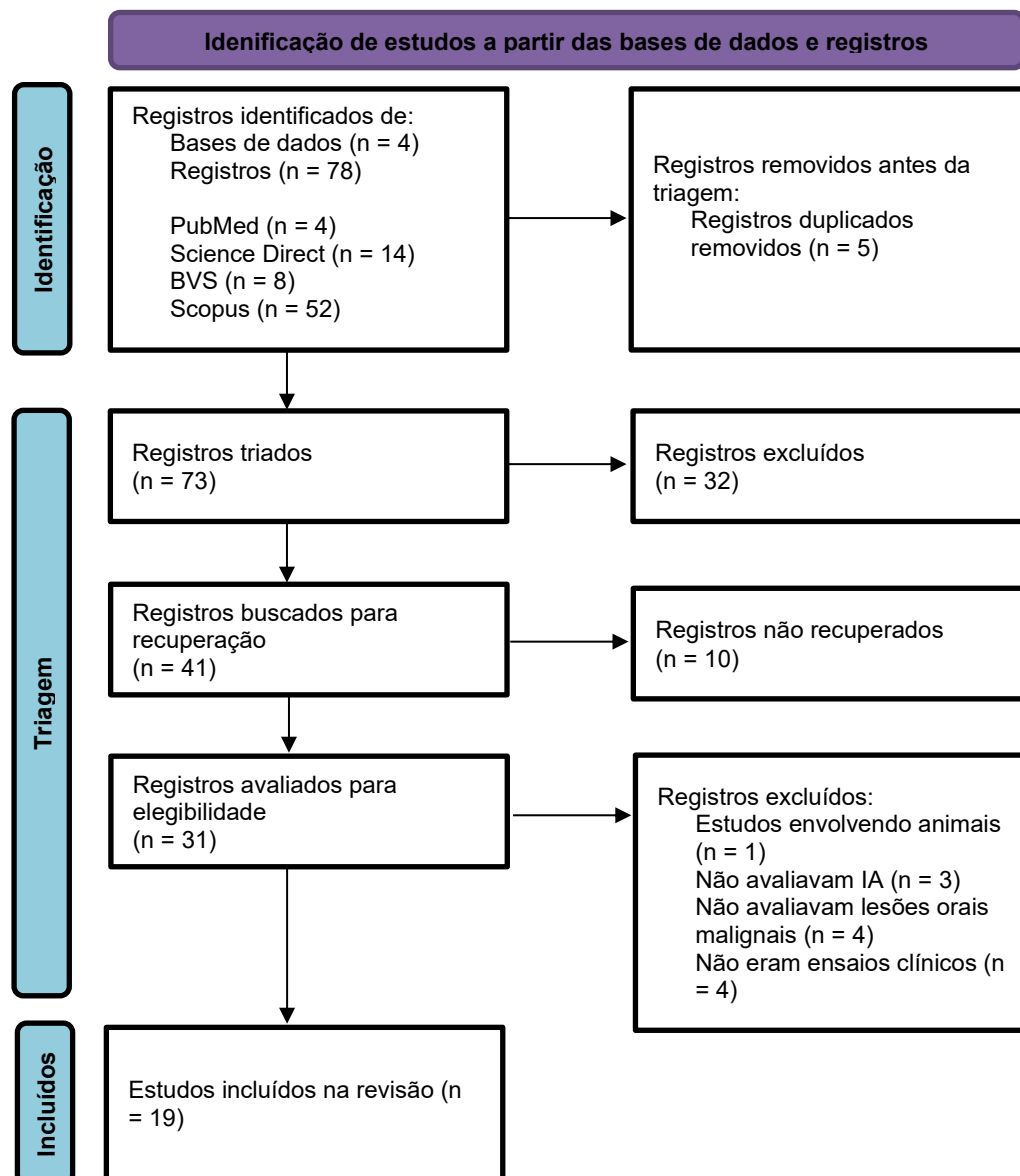
A partir da estratégia de busca previamente descrita, 78 artigos foram encontrados nas bases de dados. Destes, cinco foram excluídos por estarem duplicados. Assim, 73 estudos passaram pela triagem para verificar, por meio da leitura de título e resumo, se os mesmos estavam de acordo com os objetivos desta revisão.

Após a triagem, 32 estudos foram excluídos. Os 41 estudos remanescentes foram selecionados para leitura completa. Destes, não foi possível obter acesso a 10 artigos. Sendo assim, 31 estudos foram considerados qualificados e submetidos a uma análise detalhada para avaliar sua conformidade com os critérios de inclusão previamente estabelecidos.

Nesse contexto, entre os 31 artigos considerados elegíveis para inclusão, quatro deles não se configuravam com ensaios clínicos, quatro não analisavam lesões orais

malignas, três não avaliavam Inteligência Artificial como intervenção e um estudo era realizado em animais. O fluxo dessas análises é esquematizado na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma PRISMA.



Como resultado, foram incluídos 19 estudos que atenderam aos critérios de inclusão estipulados por esta revisão sistemática⁹⁻²⁷. Todos os estudos incluídos tratavam de ensaios clínicos não randomizados e foram, portanto, submetidos a uma análise minuciosa acerca do risco de viés por intermédio da ferramenta ROBINS-I.

Do total de estudos incluídos, apenas nove foram considerados com baixo risco de viés; um dos estudos foi considerado com risco de viés crítico e o restante dos artigos analisados foi considerado com risco de viés moderado. Os detalhes dessa análise são ilustrados na Tabela 2.

Na Tabela 3, é possível observar a descrição das aplicações das tecnologias utilizadas pelos estudos. As aplicações variaram desde diagnóstico clínico, por imagem e histopatológico, até previsões de diagnóstico e tratamento direto, como intervenção cirúrgica.

A Figura 2, por sua vez, apresenta a quantidade de vezes que cada aplicação foi apresentada e cada tecnologia foi estudada pelos artigos incluídos. É possível notar que os campos de IA mais utilizados pelos estudos foi *Machine Learning*, seguido de *Neural Network* e *Deep-learning*. Além disso, as aplicações mais estudadas foram diagnóstico histopatológico e previsão de diagnóstico.

Tabela 2. Análise do risco de viés.

Study	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Overall
Weinstein <i>et al.</i> 2007 ⁹	+	+	+	?	?	+	+	?
Lawson <i>et al.</i> 2011 ¹⁰	+	+	+	+	+	?	+	?
Chang <i>et al.</i> 2013 ¹¹	+	+	+	+	+	+	+	+
Alsmadi 2018 ¹²	?	×	+	+	+	+	+	×
Ariji <i>et al.</i> 2018 ¹³	+	?	+	+	+	+	+	?
Alabi <i>et al.</i> 2019 ¹⁴	+	+	+	+	?	+	+	?
Bur <i>et al.</i> 2019 ¹⁵	+	+	+	+	+	+	+	+
Rahman <i>et al.</i> 2019 ¹⁶	+	+	+	+	?	?	+	?
Chu <i>et al.</i> 2020 ¹⁷	+	+	+	+	+	+	+	+
McRae <i>et al.</i> 2020 ¹⁸	?	?	+	+	?	?	+	?
Jubair <i>et al.</i> 2021 ¹⁹	+	+	+	+	+	+	+	+
Musulini <i>et al.</i> 2021 ²⁰	+	+	+	+	+	+	+	+
Thiem <i>et al.</i> 2021 ²¹	?	?	+	+	?	+	+	?
D'Aviero <i>et al.</i> 2022 ²²	+	+	+	+	+	+	+	+
Deif <i>et al.</i> 2022 ²³	+	+	+	+	+	+	+	+
He <i>et al.</i> 2022 ²⁴	+	+	+	+	+	+	+	+
Shaban <i>et al.</i> 2022 ²⁵	+	?	+	+	?	+	+	?
Warin <i>et al.</i> 2022 ²⁶	+	+	+	+	?	+	+	?
Kawamura <i>et al.</i> 2023 ²⁷	+	+	+	+	+	+	+	+

Domains:

D1: Bias due to confounding

D2: Bias due to selection of participants

D3: Bias in classification of interventions

D4: Bias due to deviations from intended interventions

D5: Bias due to missing data

D6: Bias in measurement of outcomes

D7: Bias in selection of the reported results

Judgement:

Low



Moderate



Serious



Critical

DISCUSSÃO

A inteligência artificial surge no ano de 1943 com a criação do primeiro modelo computacional para redes neurais. Na atualidade, os desenvolvimentos de softwares se baseiam em dois conceitos básicos: inteligência natural e inteligência computacional, sendo o primeiro o pilar do segundo. Em suma, a inteligência natural se caracteriza pela percepção, interpretação e resposta biológica, utilizando dados e regras lógicas explicitamente programadas, gerando resultados restritos e especializados. Em contrapartida, a

inteligência computacional se baseia em dados e resultados para inferir padrões e regras⁶.

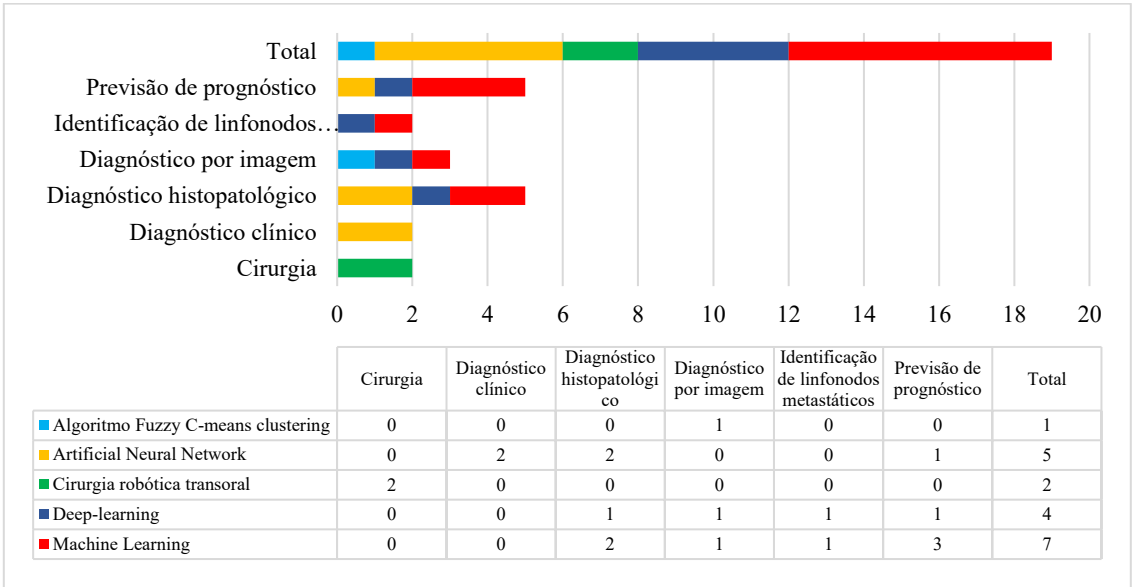
Tabela 3. Detalhes dos estudos incluídos.

Estudo	Tecnologia utilizada	Aplicações
Weinstein <i>et al.</i> 2007 ⁹	Cirurgia robótica transoral	Tonsilectomia
Lawson <i>et al.</i> 2011 ¹⁰	Cirurgia robótica transoral	Tonsilectomia, glossectomia parcial, faringectomia parcial, laringectomia supraglótica
Chang <i>et al.</i> 2013 ¹¹	<i>Machine Learning</i>	Previsão de prognóstico baseado em marcadores clinicopatológicos e genômicos
Alsmadi 2018 ¹²	Algoritmo Fuzzy C-Means Clustering	Deteção de lesões malignas e benignas em radiografias panorâmicas
Ariji <i>et al.</i> 2018 ¹³	<i>Deep-learning</i>	Identificação de linfonodos metastáticos
Alabi <i>et al.</i> 2019 ¹⁴	<i>Machine Learning</i>	Previsão de recidivas baseado nas características clinicopatológicas
Bur <i>et al.</i> 2019 ¹⁵	<i>Machine Learning</i>	Previsão de metástases nodais ocultas em Carcinoma Espinocelular clinicamente nodo negativo
Rahman <i>et al.</i> 2020 ¹⁶	<i>Machine Learning</i>	Identificação e diagnóstico de lesões malignas em imagens histológicas
Chu <i>et al.</i> 2020 ¹⁷	<i>Machine Learning</i>	Previsão de prognóstico baseado em marcadores clinicopatológicos
McRae <i>et al.</i> 2020 ¹⁸	<i>Machine Learning</i>	Diferenciação entre lesões potencialmente malignas e lesões de Carcinoma Espinocelular
Jubair <i>et al.</i> 2021 ¹⁹	<i>Artificial Neural Network</i>	Diferenciação de lesões benignas, malignas ou potencialmente malignas utilizando imagens clínicas
Musulini <i>et al.</i> 2021 ²⁰	<i>Deep-learning</i>	Diagnóstico histopatológico
Thiem <i>et al.</i> 2021 ²¹	<i>Artificial Neural Network</i>	Deteção de células malignas em amostras de tecidos orais
D'Aviero <i>et al.</i> 2022 ²²	<i>Deep-learning</i>	Autocontorno de estruturas em pacientes submetidos à radioterapia de cabeça e pescoço
Deif <i>et al.</i> 2022 ²³	<i>Artificial Neural Network</i>	Diagnóstico histopatológico
He <i>et al.</i> 2022 ²⁴	<i>Machine Learning</i>	Classificação de tumores de parótida com base em imagens de ressonância magnética
Shaban <i>et al.</i> 2022 ²⁵	<i>Deep-learning</i>	Previsão de sobrevida de Carcinoma Espinocelular a partir de linfócitos infiltrantes do estroma associado ao tumor
Warin <i>et al.</i> 2022 ²⁶	<i>Artificial Neural Network</i>	Deteção e diferenciação de Carcinoma Espinocelular e lesões orais potencialmente malignas a partir de imagens clínicas
Kawamura <i>et al.</i> 2023 ²⁷	<i>Artificial Neural Network</i>	Previsão de metástases linfonodais em lesões malignas de língua

Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de IA são notórios, com resultados otimistas. Logo, a IA tem se mostrado um campo emergente na odontologia. Em casos de câncer na cavidade oral, há a necessidade de um diagnóstico precoce, pois esses fatores influenciam diretamente no prognóstico do paciente. Além disso, a identificação de quadros envolvendo metástase também se

configura como um fator importante para o prognóstico do paciente oncológico⁵.

Figura 2. Frequência das tecnologias utilizadas e suas aplicações no estudos incluídos.



Outra aplicação importante que merece atenção dos estudos desenvolvidos na área está relacionada ao diagnóstico histopatológico de lesões cancerizáveis, uma vez que os sistemas de classificação utilizados para identificar as displasias epiteliais representam uma fonte de desacordo entre os patologistas orais. Um estudo realizado no Brasil avaliou o desempenho de um modelo de *deep learning* em cerca de 86 pacientes com lesões orais potencialmente malignas e verificou que os modelos avaliados demonstraram uma alta taxa de aprendizado, porém ainda com falhas na generalização dos dados²⁸.

Em nosso estudo, podemos observar diversas aplicações específicas, mas que se encaixam em conceitos gerais, como ilustrado na Figura 2. O subcampo mais avaliado pelos estudos incluídos, machine learning, está relacionado a algoritmos capazes de aprender padrões e comportamentos estatísticos presentes nos dados, permitindo previsões de dados ocultos⁶. Os estudos aplicaram modelos de machine learning em casos de diagnóstico por imagem, identificação de linfonodos metastáticos, mas principalmente no diagnóstico histopatológico e na previsão de prognóstico. Ou seja, aplicações que dependem justamente de padrões e características estatísticas intrínsecas aos dados avaliados.

Além disso, as redes neurais artificiais (*artificial neural network*) demonstram a capacidade de desempenhar um papel importante na análise de conjunto de dados extensos e complexos e sua aplicação na área da saúde se relaciona à gestão e previsão de doenças⁷. Em nossa revisão, esse subcampo da inteligência artificial foi o segundo mais analisado pelos estudos incluídos, sendo aplicado para o diagnóstico clínico, diagnóstico histopatológico e previsão de prognóstico.

O estudo de Thiem *et al.* (2021)²¹, por sua vez, avaliou a aplicação de um modelo de rede neural para classificação automática de malignidade a partir de amostras de tecidos orais de músculo, gordura e mucosa. A partir de um total de 316 amostras de tecido oral, os resultados foram

significantes ao diferir cada tipo de tecido com uma precisão acima de 80%.

Por outro lado, mesmo em meio a grandes avanços tecnológicos, a aplicabilidade da inteligência artificial no meio odontológico ainda enfrenta grandes desafios. Um dos obstáculos encontrados para a aplicação dessas tecnologias está na disponibilidade, acessibilidade e organização dos dados dos pacientes. Isto é, dados incompletos, omissos ou desconectados geram frequentemente vieses de seleção, com amostras não padronizadas ou com sobre-representação de pacientes, levando a resultados tendenciosos²⁹.

A carência de estudos disponíveis na literatura demonstra como o acesso a essas tecnologias ainda se mantém restrito em decorrência das disparidades econômicas. Além disso, os possíveis conflitos éticos relacionados ao desenvolvimento da inteligência artificial se configuram como uma importante discussão. Os dois principais aspectos éticos relacionados a esse cenário são: a) o limite entre a utilização dos dispositivos de IA para investigação e para utilização clínica; b) a confiança do paciente e do profissional em relação aos riscos potenciais associados às tecnologias. Uma revisão de escopo analisa a relação da inteligência artificial e a ética na odontologia e destaca que os estudos raramente mencionam se há o envolvimento de uma aprovação do conselho de ética, como também não citam ou mencionam diretrizes relacionadas à ética da IA³⁰.

CONCLUSÕES

A presente revisão sistemática foi capaz de identificar na literatura as aplicações dos campos da inteligência artificial para o diagnóstico e manejo de lesões orais malignas. Embora o desenvolvimento dessas tecnologias já date mais de 80 anos, os avanços mais proeminentes se deram nos últimos anos, ainda mantendo esses dispositivos com um acesso escasso. Por conta disso, fica evidente que estudos mais robustos, bem conduzidos e com maior qualidade de evidência necessitam ser produzidos com o intuito de verdadeiramente comprovar a eficácia dessas aplicações na odontologia, de modo especial nas lesões malignas orais.

AGRADECIMENTOS

Este estudo é resultado de um projeto de pesquisa vinculado ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Pará. Portanto, os autores agradecem o apoio e auxílio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPA.

REFERÊNCIAS

1. Inchigolo F, Santacroce L, Ballini A, Topi S, Dipalma G, Haxhirexha K, et al. Oral Cancer: A Historical Review. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:1-24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093168>
2. Abati S, Bramati C, Bondi S, Lissoni A, Trimarchi M. Oral Cancer and Precancer: A Narrative Review on the Relevance of Early Diagnoses. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:1-14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249160>
3. Warnakulasuriya S. Global epidemiology of oral and oropharyngeal cancer. *Oral Oncol* 2009;45:309-16. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2008.06.002>

4. McCullough MJ, Prasad G, Farah CS. Oral mucosal malignancy and potentially malignant lesions: An update on the epidemiology, risk factors, diagnosis and management. *Aust Dent J* 2010;55:61-5. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01200.x>
5. Chaturvedi AK, Udaltsova N, Engels EA, Katz JA, Yanik EL, Katki HA, *et al.* Oral Leukoplakia and Risk of Progress to Oral Cancer: A Population-Based Cohort Study. *J Natl Cancer Inst* 2020;112:1047-54. <https://doi.org/10.1093/jnci/djz238>
6. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res* 2020;99:769-74. <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>
7. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *J Dent* 2019;91:103226. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103226>
8. Ilhan B, Lin K, Guneri P, Wilder-Smith P. Improving Oral Cancer Outcomes with Imaging and Artificial Intelligence. *J Dent Res* 2020;99:241-8. <https://doi.org/10.1177/0022034520902128>
9. Weinstein GS, O'Malley Jr BW, Snyder W, Sherman E, Quon H. Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133:1220-6. <https://doi.org/10.1001/archotol.133.12.1220>
10. Lawson G, Matar N, Remacle M, Jamart J, Backy V. Transoral robotic surgery for the management of head and neck tumors: learning curve. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2011;268:1795-801. <https://doi.org/10.1007/s00405-011-1537-7>
11. Chang S, Abdul-Kareem S, Merican AF, Zain RB. Oral cancer prognosis based on clinicopathologic and genomic markers using a hybrid of feature selection and machine learning methods. *BMC Bioinform* 2013;170:1-15. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-170>
12. Alsmadi MK. A hybrid Fuzzy C-Means and Neutrosophic for jaw lesions segmentation. *Ain Shams Engin J* 2018;9:697-706. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.03.016>
13. Ariji Y, Fukuda M, Kise Y, Nozawa M, Yanashita Y, Fujita H, *et al.* Contrast-enhanced CT image assessment of cervical lymph node metastasis in oral cancer patients using a deep learning system of artificial intelligence. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2019;127:458-63. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2018.10.002>
14. Alabi RO, Elmusrati M, Sawazaki-Calone I, Kowalski LP, Haglund C, Coletta RD, *et al.* Comparison of supervised machine learning classification techniques in prediction of locoregional recurrences in early oral tongue cancer. *Int J Med Inform* 2020;136:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104068>
15. Bur AM, Holcomb A, Goodwin S, Woodroof J, Karadaghy O, Shnyder Y, *et al.* Machine learning to predict occult nodal metastasis in early oral squamous cell carcinoma. *Oral Oncol* 2019;92:20-5. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.03.011>

- 16.Rahman TY, Mahanta LB, Das AK, Sarma JD. Histopathological imaging database for oral cancer analysis. Data Brief 2020;29:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105114>
- 17.Chu CS, Lee NP, Adeoye J, Thomson P, Choi S. Machine learning and treatment outcome prediction for oral cancer. J Oral Pathol Med 2020;49:977-85. <https://doi.org/10.1111/jop.13089>
- 18.McRae MP, Modak SS, Simmons GW, Trocheset DA, Kerr AR, Thornhill MH, *et al.* Point-of-Care Oral Cytology Tool for the Screening and Assessment of Potentially Malignant Oral Lesions. Cancer Cytopathol 2020;128:207-20. <https://doi.org/10.1002/cncy.22236>
- 19.Jubair F, Al-Karadsheh O, Malamos D, Al Mahdi S, Saad Y, Hassona Y. A novel lightweight deep convolutional neural network for early detection of oral cancer. Oral Dis 2022;28:1123-30. <https://doi.org/10.1111/odi.13825>
- 20.Musulin J, Štifanić D, Zulijani A, Čabov T, Dekanić A, Car Z. An Enhanced Histopathology Analysis: An AI-Based System for Multiclass Grading of Oral Squamous Cell Carcinoma and Segmenting of Epithelial and Stromal Tissue. Cancers (Basel) 2021;13:1-21. <https://doi.org/10.3390/cancers13081784>
- 21.Thiem DGE, Römer P, Gielisch M, Al-Nawas B, Schlüter M, Plaß B, *et al.* Hyperspectral imaging and artificial intelligence to detect oral malignancy – part 1 - automated tissue classification of oral muscle, fat and mucosa using a lightweight 6-layer deep neural network. Head Face Med 2021;17:1-9. <https://doi.org/10.1186/s13005-021-00292-0>
- 22.D'Aviero A, Re A, Catucci F, Piccari D, Votta C, Piro D, *et al.* Clinical Validation of a Deep-Learning Segmentation Software in Head and Neck: An Early Analysis in a Developing Radiation Oncology Center. Int J Environ Res Public Health 2022;19:1-9. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159057>
- 23.Deif MA, Attar H, Amer A, Elhaty IA, Khosravi MR, Solyman AAA. Diagnosis of Oral Squamous Cell Carcinoma Using Deep Neural Networks and Binary Particle Swarm Optimization on Histopathological Images: An AIoMT Approach. Comput Intell Neurosci 2022;2022:1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/6364102>
- 24.He Z, Mao Y, Lu S, Tan L, Xiao J, Tan P, *et al.* Machine learning-based radiomics for histological classification of parotid tumors using morphological MRI: a comparative study. Eur Radiol 2022;32:8099-110. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08943-9>
- 25.Shaban M, Raza SEA, Hassan M, Jamshed A, Mushtaq S, Loya A, *et al.* A digital score of tumour-associated stroma infiltrating lymphocytes predicts survival in head and neck squamous cell carcinoma. J Pathol 2022;256:174-85. <https://doi.org/10.1002/path.5819>
- 26.Warin K, Limprasert W, Suebnukarn S, Jinaporntham S, Jantana P, Vicharueang S. AI-based Analysis of Oral Lesions Using Novel Deep Convolutional Neural Networks for Early Detection of Oral Cancer. PLoS One 2022;17:1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273508>
- 27.Kawamura K, Lee C, Yoshikawa T, Hani A, Usami Y, Toyosawa S, *et al.* Prediction of cervical lymph node metastasis from immunostained specimens of tongue cancer using a multilayer perceptron neural

- network. *Cancer Med* 2023;12:5312-22. <https://doi.org/10.1002/cam4.5343>
- 28.Araújo ALD, Silva VM, Moraes MC, Amorim HA, Fonseca FP, Sant'Ana MSP, *et al*. The use of deep learning state-of-the-art architectures for oral epithelial dysplasia grading: A comparative appraisal. *J Oral Pathol Med* 2023;52:980-7. <https://doi.org/10.1111/jop.13477>
- 29.Gianfrancesco MA, Tamang S, Yazdany J, Schmajuk G. Potential Biases in Machine Learning Algorithms Using Electronic Health Record Data. *JAMA Inter Med* 2018;178:1544-7. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.3763>
- 30.Mörch CM, Atsu S, Cai W, Li X, Madathil SA, Liu X, *et al*. Artificial Intelligence and Ethics in Dentistry: A Scoping Review. *J Dent Res* 2021;100:1452-60. <https://doi.org/10.1177/00220345211013808>