

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CENTRO INTEGRADO DE SAÚDE  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA**

**Isabela Tostes Fonseca**

**Uso de modelos de Inteligência Artificial na detecção de cárie**

Juiz de Fora

2023

## **Uso de modelos de Inteligência Artificial na detecção de cárie**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Cirurgiã-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Renato Cilli

Juiz de Fora

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
REITORIA - FACODONTO - Coordenação do Curso de Odontologia

**Isabela Tostes Fonseca**

**Uso de modelos de inteligência artificial na detecção de cárie**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Aprovada(o) em 13 de dezembro de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Renato Cilli

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Laisa Araujo Cortines Laxe

Universidade Federal de Juiz de Fora

Me. Mariella Agostinho Gonçalves Lourenço

Universidade Federal de Juiz de Fora

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Tostes Fonseca, Isabela.

Uso de modelos de inteligência artificial na detecção de cárie / Isabela Tostes Fonseca. -- 2023.  
35 f.

Orientador: Renato Cilli

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia, 2023.

1. Odontologia. 2. Inteligência Artificial. 3. Cárie dentária. I. Cilli, Renato, orient. II. Título.

**Isabela Tostes Fonseca**

**Uso de modelos de Inteligência Artificial na detecção de cárie**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Cirurgiã-Dentista.

:

Aprovada em \_\_\_\_ de Dezembro de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Renato Cilli - Orientador  
Doutor do Departamento de Odontologia Restauradora - UFJF

---

Profa. Dra. Mariella Agostinho Gonçalves Lourenço  
Doutora do Departamento de Odontologia Restauradora - UFJF

---

Profa. Dra. Laísa Araújo Cortines Laxe  
Doutora do Departamento de Odontologia Restauradora - UFJF

Dedico este trabalho aos meus pais, avós, irmão, namorado e amigos que foram pilares fundamentais para a conclusão dessa etapa da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de elevar minha gratidão a Deus por sempre me abençoar e por me proporcionar uma família que diariamente me mostra o poder da educação - em especial minha avó Josélia que foi professora e ajudou muitas pessoas em sua trajetória.

À minha família, toda minha gratidão por estar sempre presente em minha vida, me ensinando, guiando e cuidando de mim. Obrigada mãe, pai e Igor.

Ao meu namorado, Gabriel, obrigada por ser meu maior companheiro e sempre estimular o meu melhor lado.

Aos meus amigos, em especial à Maria Otávia, Júlia Dutra e ao Pedro Elio, gratidão por fazerem toda essa jornada mais leve, repleta de histórias, risadas e bons momentos compartilhados. À Sabrina Andrade, obrigada pela amizade sincera, sem você esse trabalho não aconteceria.

E, por fim, gostaria de agradecer a mim mesma, por finalizar essa graduação com honra e por nunca abandonar meus princípios.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.” (Paulo Freire).

## RESUMO

A inteligência artificial (IA), conforme definida por Richard Bellman como automação de atividades associadas às habilidades de pensamento humano, tem desempenhado um papel crucial na Odontologia, utilizando modelos de aprendizado de máquina (ML) e aprendizado profundo (DL). Especificamente, as redes neurais convolucionais (CNN) do DL têm sido eficazes na avaliação de imagens radiográficas. Dessa forma, foi realizada uma revisão de literatura com intuito de analisar a aplicação da IA na Odontologia com enfoque na precisão e eficiência no diagnóstico de lesões cáries. A cárie dentária, uma das doenças crônicas mais prevalentes, requer detecção precoce para que o tratamento restaurador não seja invasivo ou para que seja minimamente invasivo, destacando a importância da IA como uma segunda opinião para os dentistas. Embora os modelos de DL tenham alta precisão, é fundamental considerá-los como ferramentas de assistência, melhorando a assertividade do diagnóstico e contribuindo para resultados de tratamento mais eficazes.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Odontologia; Cárie dentária.

## **ABSTRACT**

Artificial Intelligence (AI), as defined by Richard Bellman as the automation of activities associated with human thinking skills, has played a crucial role in Dentistry, utilizing Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) models. Specifically, Deep Learning's Convolutional Neural Networks (CNN) have proven effective in evaluating radiographic images. Accordingly, a literature review was conducted to analyze the application of AI in Dentistry, with a focus on accuracy and efficiency in the diagnosis of carious lesions. Dental caries, one of the most prevalent chronic diseases, requires early detection to ensure that restorative treatment is either non-invasive or minimally invasive, underscoring the importance of AI as a second opinion for dentists. While DL models demonstrate high accuracy, it is essential to consider them as assistive tools, enhancing diagnostic accuracy and contributing to more effective treatment.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Dentistry; Dental Caries.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Representação do Diagrama de Venn.....	17
Figura 2a	– Representação esquemática de um neurônio artificial.....	18
Figura 2b	– Estrutura de um neurônio biológico.....	19
Figura 3	– Representação esquemática de uma rede neural artificial.....	19
Figura 4	– Arquitetura da CNN para classificação de imagens.....	20
Figura 5	– Demonstração da classificação, detecção e segmentação da visão computacional para o reconhecimento da cárie em uma imagem radiográfica.....	25

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
ML	Aprendizado de máquina
DL	Aprendizado profundo
CNN	Rede neural convolucional

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	PROPOSIÇÃO.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4	DISCUSSÃO.....	30
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

## 1 INTRODUÇÃO

O termo “inteligência artificial” (IA) foi criado na década de 50 pelo matemático John McCarthy com o objetivo de explicar a capacidade das máquinas de realizar tarefas caracterizadas como “inteligentes”. Posteriormente, na década de 70, o matemático Richard Bellman definiu a IA como “automação de atividades associadas às habilidades de pensamento humano, o que inclui aprendizagem, tomada de decisões e resolução de problemas”. (KHANAGAR et al., 2020)

A partir dos avanços na tecnologia de imagens médicas e a crescente importância da imagem no diagnóstico, houve uma rápida expansão dos dados visuais médicos armazenados. (SOFFER et al., 2019) As imagens radiográficas, resultantes da exposição a raios X, são codificadas digitalmente, possibilitando sua pronta conversão para linguagem computacional e gerando bases de dados ricas para investigação científica, principalmente para o aprimoramento da IA. (PUTRA et al., 2022)

No âmbito das práticas profissionais, a Odontologia tem experimentado vantagens advindas das vertentes dos modelos de inteligência artificial, sendo elas o aprendizado de máquina (*machine learning* - ML) e o aprendizado profundo (*deep learning* - DL). (JARDIM et al., 2023) As redes neurais convolucionais (CNN), utilizadas pelo DL, têm sido um sucesso para avaliar imagens radiográficas. Com relação a detecção de cárie, estudos recentes relatam a classificação e segmentação de lesões cáries predominantemente em radiografias interproximais. As radiografias *Bitewing* são padrão ouro na detecção visual-tátil de cárie, mas sua sensibilidade é limitada, como indicado por uma recente revisão. (MARTENS et al., 2021) Acredita-se que as CNNs possam superar essa limitação, mostrando sensibilidade superior a 70% na detecção de lesões iniciais e avançadas em comparação aos dentistas, que demonstram sensibilidade inferior a 25% para lesões iniciais. (JARDIM et al., 2023)

A IA tem desempenhado um papel crucial na odontologia, aprimorando a precisão e a eficiência do diagnóstico. Isso é vital para garantir os melhores resultados nos tratamentos e proporcionar um atendimento de alta qualidade aos pacientes. (KHANAGAR et al., 2020) Dessa forma, o objetivo do presente estudo é demonstrar como a inteligência artificial pode servir como um guia, ajudando os dentistas a tomar decisões e aprimorar seu desempenho; além de automatizar

processos de diagnóstico, gerenciamento de dados e auxiliar os especialistas em  
decisões mais assertivas.

## **2 PROPOSIÇÃO**

Por meio desta revisão de literatura, elucidou-se a aplicabilidade de modelos baseados em inteligência artificial no auxílio da detecção de lesões cariosas, possibilitando um diagnóstico mais assertivo aliado aos conhecimentos prévios dos cirurgiões-dentistas. As pesquisas desse estudo foram feitas nas bases de dados PubMed e Scielo, compreendendo artigos em periódicos publicados entre os anos de 2018 e 2023.

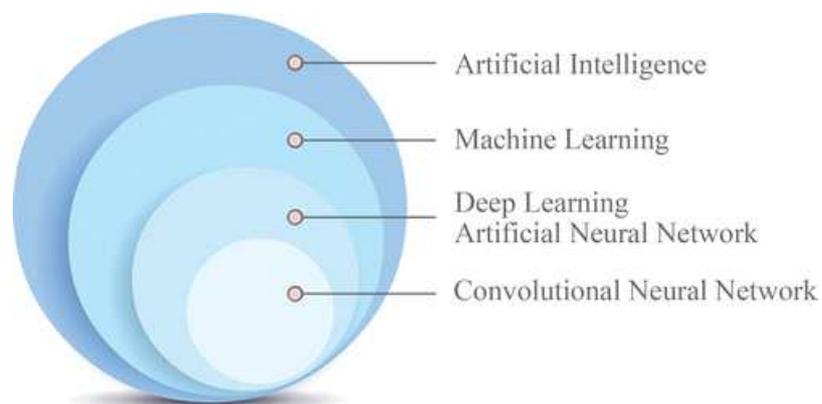
### 3 REVISÃO DE LITERATURA

O trabalho desenvolvido por Hosny et al. (2018) teve como objetivo compreender os métodos de Inteligência Artificial (IA), especialmente aqueles relacionados a tarefas de imagem, e examinar seu impacto na radiologia - além de demonstrar o avanço desses métodos no campo, abordando desafios na implementação clínica e oferecendo perspectivas para o desenvolvimento contínuo no domínio. O autor aponta que os mais recentes algoritmos de aprendizado profundo (DL) têm a capacidade de equiparar e até mesmo ultrapassar o desempenho humano em aplicações específicas de tarefas. Isso decorre dos progressos recentes na investigação da IA, das vastas quantidades de dados digitais atualmente acessíveis para o treinamento de algoritmos e do desenvolvimento de *hardware* computacional avançado e potente. A DL é uma categoria dentro do campo de aprendizado de máquina, que utiliza uma arquitetura de rede neural que se inspira de maneira ampla no funcionamento do cérebro humano. Essas redes têm a capacidade de identificar automaticamente características distintivas nos dados, conferindo-lhes a habilidade de modelar relações altamente complexas e não lineares. Sendo, atualmente, as redes neurais convolucionais (CNN) o sistema da DL mais utilizado na avaliação de imagens radiográficas. Na prática radiológica, profissionais examinam visualmente imagens médicas, descrevem observações e monitoram doenças com base em seus conhecimentos e experiências, o que pode ser subjetivo. A Inteligência Artificial se destaca na identificação automatizada e quantitativa de padrões complexos em dados de imagem. Sua integração como ferramenta de apoio aos médicos no fluxo de trabalho clínico possibilita avaliações radiológicas mais precisas e reproduzíveis. No entanto, ainda existem desafios que interferem na aplicabilidade da IA em imagens radiográficas. Debates intensos cercam a rápida adoção de métodos de aprendizagem profunda na prática clínica radiológica, com estimativas variadas para a automação total de tarefas clínicas. O desenvolvimento inicial de soluções automatizadas foca em problemas clínicos comuns, usando dados abundantes. Posteriormente, a atenção se voltará para desafios mais complexos, como a interpretação de ressonância magnética multiparamétrica. No entanto, as atuais ferramentas de IA têm limitações em lidar com múltiplas tarefas simultaneamente, destacando a necessidade de um sistema abrangente para detectar anormalidades em todo o corpo humano. Embora enormes

conjuntos de dados médicos estejam disponíveis, a seleção limitada apresenta desafios na criação de modelos de IA. A curadoria de dados envolve escolher uma coorte de pacientes relevante e garantir a qualidade dos dados, evitando variações devido a diferenças nos padrões de aquisição e protocolos de imagem entre instituições. Em imagens médicas, a curadoria exige conhecimento especializado, e embora avanços recentes prometam reduzir o tempo de anotação, a quantidade de dados que precisa ser curada é um fator limitante. Portanto, é crucial reconhecer que a inteligência artificial difere da humana, e a promessa de métodos emergentes deve ser cautelosa. A maioria dos avanços atuais está na categoria restrita, treinada para tarefas específicas, carecendo do contexto e da capacidade associativa humana. O entusiasmo em torno da IA deve ser substituído por uma abordagem mais racional. É evidente que a IA não substituirá os radiologistas em breve. Suas funções evoluirão com a integração tecnológica, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento da IA e contribuindo com conhecimento especializado.

Soffer et al. (2019) oferecem em seu artigo uma visão introdutória sobre a tecnologia de aprendizado profundo (DL) e explora as fases do desenvolvimento da pesquisa em radiologia utilizando essa abordagem. Nos últimos anos, os avanços na tecnologia de imagens radiográficas e o crescente papel da imagem no processo diagnóstico resultaram em uma expansão significativa dos dados visuais médicos, demandando novos modelos computacionais. Um marco significativo nesse avanço é a introdução da nova rede neural convolucional (CNN), que atualmente é reconhecida como a vanguarda na análise de imagens.

Figura 1 – Representação do Diagrama de Venn

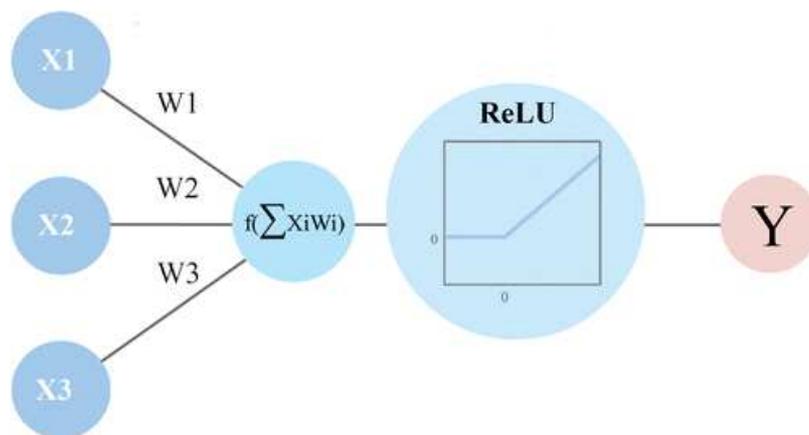


Fonte: Soffer et al. (2019)

Nota: Representação do diagrama de Venn de redes neurais convolucionais na terminologia hierárquica de inteligência artificial. (Inteligência artificial, aprendizado de máquina, aprendizado profundo/rede neural artificial e rede neural convolucional, respectivamente.)

As redes neurais artificiais podem ser compreendidas através de uma analogia entre o neurônio artificial e o neurônio biológico. O neurônio biológico é dividido em três componentes: dendritos, corpo celular e axônio. Os dendritos recebem sinais de entrada, uma "função" é realizada no corpo celular e o neurônio emite um potencial de ação, transmitindo um pico ao longo do axônio. Nas sinapses, os sinais são geralmente enviados do axônio de um neurônio para o dendrito de outro. Nos neurônios artificiais, os dados de entrada são recebidos pelos dendritos, comumente referidos como pesos. Cada entrada é multiplicada pelo seu peso correspondente, e a soma de todas essas multiplicações é realizada (produto escalar). Em seguida, uma fórmula matemática não linear é aplicada ao resultado e a saída do neurônio atua como entrada para a próxima camada de neurônios.

Figura 2a – Representação esquemática de um neurônio artificial.



Fonte: Soffer et al. (2019)

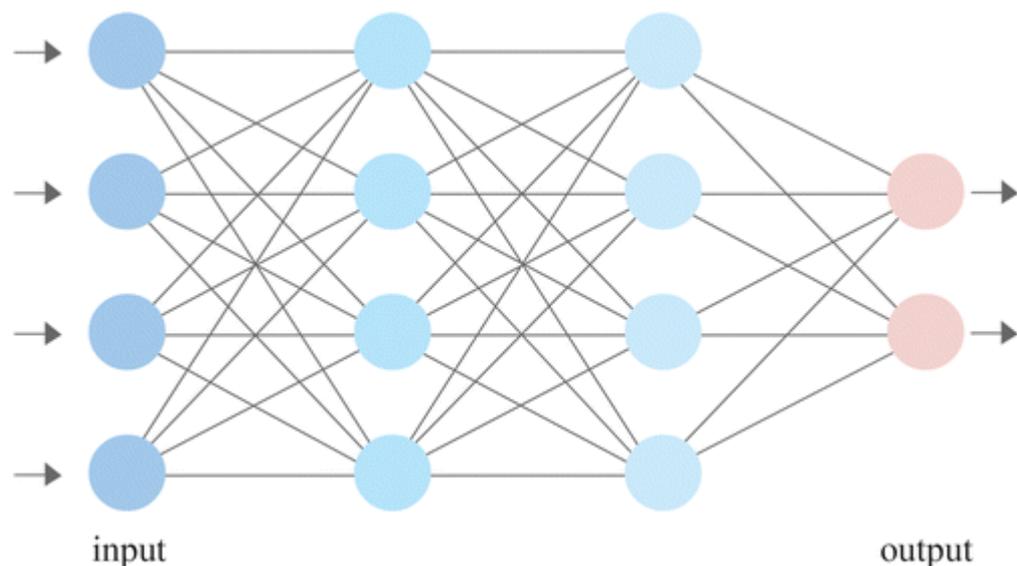
Figura 2b – Estrutura de um neurônio biológico.



Fonte: Soffer et al. (2019)

As redes neurais artificiais são representadas como conjuntos de neurônios artificiais interconectados em um gráfico acíclico, onde as saídas de alguns neurônios podem servir como entradas para outros. Os neurônios são organizados em diversas camadas ocultas, nas quais as camadas adjacentes têm conexões completas entre si, enquanto neurônios na mesma camada não possuem interconexões.

Figura 3 - Representação esquemática de uma rede neural artificial

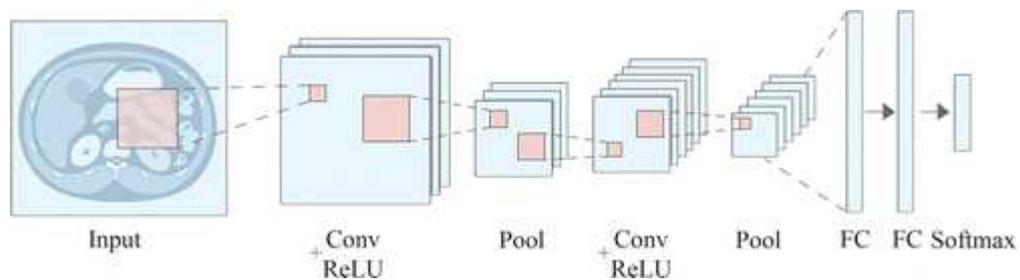


Fonte: Soffer et al. (2019)

As CNNs, similares às redes neurais artificiais, são projetadas para processar imagens, assumindo explicitamente que as entradas são imagens. Sua arquitetura consiste em várias camadas, permitindo a aprendizagem hierárquica de

características. Na primeira camada, os recursos indicam a presença ou ausência de bordas em orientações específicas. A segunda detecta padrões de bordas, independentemente de pequenas variações. A terceira pode combinar padrões em partes de objetos familiares, enquanto camadas subsequentes identificam objetos como combinações dessas partes. A CNN transforma volumes de imagem em pontuações de classe por meio de camadas diferenciáveis. As principais camadas incluem convolucional, *pooling*, não linearidade e totalmente conectada, que formam a estrutura essencial da CNN para processar e classificar imagens.

Figura 4 - Arquitetura da CNN para classificação de imagens.



Fonte: Soffer et al. (2019)

Nota: São trabalhados quatro tipos principais de camadas, que são integrados em conjunto: convolução (Conv), *pooling* (Pool), não linearidade (utilizando a unidade linear retificada [ReLU]) e camadas totalmente conectadas (FC).

Dessa forma, conclui-se que, recentemente, houve um aumento significativo do interesse em aplicar as CNNs à pesquisa radiológica, refletido no expressivo aumento de publicações sobre aprendizado profundo em radiologia, que abrange diversos sistemas de órgãos e modalidades de imagem. No entanto, um desafio conhecido na pesquisa de aprendizagem profunda em radiologia é a escassez de dados anotados, sendo o desenvolvimento de bases de dados de acesso público uma abordagem para superar essas limitações.

As Redes Neurais Convolucionais (CNNs) apresentam potencial para serem integradas em sistemas de auxílio diagnóstico, oferecendo suporte aos dentistas na análise e documentação abrangente, sistemática e rápida de imagens dentárias. Embora as CNNs possam se tornar aplicáveis na rotina odontológica, é imperativo

que a comunidade odontológica as avalie conforme os princípios da prática baseada em evidências antes de sua implementação. Em uma revisão abrangente, Schwendickel et al. (2019) analisaram 36 estudos publicados entre 2015 e 2019, buscando identificar lacunas de conhecimento, definir o escopo da literatura, esclarecer conceitos e avaliar a conduta e a robustez da pesquisa. A conclusão destacou o crescente uso das CNNs para diagnósticos de imagens dentárias em ambientes de pesquisa, destacando a necessidade de demonstrar sua utilidade, segurança e generalização por meio de metodologias mais rigorosas, replicáveis e comparáveis.

Khanagar et al. (2020) evidenciam em sua revisão sistemática a capacidade tecnológica da inteligência artificial (IA) de imitar as habilidades cognitivas humanas. A fim de estudar a aplicabilidade dessa tecnologia na odontologia, os autores utilizaram bases de dados eletrônicas para realizar a seleção de 43 artigos, os quais foram lidos na íntegra e analisados criticamente. Os levantamentos examinados nesta revisão sistemática indicaram que a inteligência artificial tem sido extensivamente aplicada em diversas áreas da odontologia, tecendo um papel crucial para aprimorar a precisão e eficiência do diagnóstico. O uso da IA na área odontológica apresenta diversos benefícios, tais como: oferecer sistemas como ferramentas complementares para aprimorar a precisão do diagnóstico, planejamento do tratamento e previsão dos resultados, suporte diagnóstico por meio de sistemas de aprendizagem profunda para profissionais não especializados, economia de tempo e aumento da eficiência, aprimoramento da precisão diagnóstica - bem como agrega no contexto do diagnóstico forense. Visto isso, o estudo realizado pelo autor conclui que nos últimos anos a odontologia passou por uma revolução impulsionada pela IA, a qual possui sistemas que têm apresentado desempenho notável em diversas situações. Embora alguns autores não os considerem superiores aos especialistas em odontologia, os resultados destacam a viabilidade da IA em aplicações clínicas contribuindo para que os profissionais ofereçam cuidados de alta qualidade aos pacientes.

O propósito do estudo feito por Cantú et al. (2020) foi empregar o aprendizado profundo (DL) para identificar lesões de cárie com diversas extensões em radiografias interproximais, com a hipótese de que a precisão seria maior do que as

avaliações de dentistas individuais. Quatro dentistas experientes avaliaram 3.686 radiografias interproximais, sendo que a rede neural de DL demonstrou uma precisão de 80%, enquanto a média de precisão dos dentistas foi menor (71%). Além disso, a rede neural revelou uma sensibilidade significativamente superior à dos dentistas. Enquanto os dentistas demonstraram sensibilidades baixas para lesões iniciais, a rede neural igualou ou superou o valor de 70% para lesões iniciais e avançadas. Em suma, para a detecção de lesões de cárie em radiografias interproximais, a rede neural profunda mostrou-se significativamente mais precisa do que as avaliações realizadas pelos dentistas.

Prados-Privado et al. (2021) avaliaram o estado atual da técnica de redes neurais na detecção e diagnóstico de lesões cariosas. Cada pesquisa foi analisada em relação ao tipo de imagem, ao conjunto total de imagens e suas características, à rede neural utilizada para a detecção de cáries, aos critérios de exclusão de imagens e à eventual modificação do banco de dados antes do processo de treinamento. Em seguida, foram examinadas as definições de cárie, os tipos específicos identificados, bem como as métricas e os valores dos resultados. Todavia, os estudos analisados nesta revisão utilizaram modelos de redes neurais diferentes, bem como diferentes indicadores, o que implica negativamente na confiabilidade de uma rede neural no que diz respeito a lesões cariosas.

O ensaio randomizado elaborado por Mertens et al. (2021) tem como objetivo avaliar o impacto de um sistema de diagnóstico baseado em inteligência artificial (IA) para a detecção de cáries proximais em radiografias interproximais. Estudos recentes apontam que as redes neurais convolucionais (CNNs) - um tipo de arquitetura de rede neural englobada pelo aprendizado profundo (DL) - possuem sensibilidade maior que 70% na detecção de cáries em imagens radiográficas interproximais, principalmente para lesões em estado inicial. Usar a IA como ferramenta para detecção precoce de lesões cariosas pode aumentar o cuidado para a realização de um tratamento adequado não invasivo ou microinvasivo, o que pode resultar em ganhos para a saúde e na diminuição de tratamentos invasivos que têm um valor econômico mais alto. No entanto, são necessários mais ensaios clínicos randomizados que avaliem a eficácia dessas ferramentas de IA no âmbito médico e odontológico real.

O estudo diagnóstico desenvolvido por Kühnisch et al. (2021), utilizando aprendizagem profunda (DL) arquitetada em redes neurais convolucionais (CNNs), teve como objetivo detectar e categorizar lesões cáries e comparar o desempenho deste sistema com o diagnóstico feito por avaliação especializada em fotografias intraorais. Diante disso, a inteligência artificial (IA) usada demonstrou-se eficaz no objetivo que lhe foi proposto. A precisão das CNNs na detecção de cáries e cavidades relacionadas às cáries em imagens intraorais codificadas pelo sistema foi de 90%. Para isso, foram avaliadas 2.417 fotografias de dentes permanentes, sendo 1.317 superfícies oclusais e 1.100 superfícies lisas - as avaliações consistiram em: sem cárie, lesão de cárie cavitada ou lesão não cavitada. Dessa forma, conclui-se que a utilização prática de IA pode ser algo viável futuramente. Contudo, é necessário realizar pesquisas mais aprofundadas para superar as atuais limitações, levando em consideração resultados de diagnóstico diferencial pertinentes. Os autores supõem que, para que haja melhoria dos resultados, deve haver, primeiramente, inclusão de um maior número de imagens e, em segundo lugar, pela aplicação de uma segmentação precisa das imagens.

A cárie é uma das doenças que mais prevalece globalmente. A identificação precoce desta patologia pode prevenir intervenções consideradas invasivas e resultar em economias significativas nos custos da saúde. No entanto, o diagnóstico decorrente da exameção clínica e radiográfica pode ser subjetiva, uma vez que depende da interpretação e conhecimentos particulares do profissional que realiza a análise. Lee et al. (2021) desenvolveram em seu estudo um modelo de rede neural convolucional (CNN) dedicado à detecção de cárie em radiografias interproximais. A abordagem inclui uma análise da estrutura dentária e das disparidades na densidade radiográfica, sem a necessidade de manipulações especiais nas radiografias. Além disso, os autores investigaram a viabilidade do modelo proposto em auxiliar os profissionais no diagnóstico de cárie em cenários clínicos reais. Os resultados desse estudo indicaram que usar as informações obtidas pelos modelos de CNNs como segunda opinião pode aprimorar a precisão do diagnóstico precoce por parte dos dentistas. Contudo, mais dados de treinamento são cruciais para obter resultados mais estáveis e confiáveis.

Ezhov et al. (2021) avaliaram um novo sistema de Inteligência Artificial (IA) baseado em métodos de aprendizado profundo (DL) e sua capacidade diagnóstica.

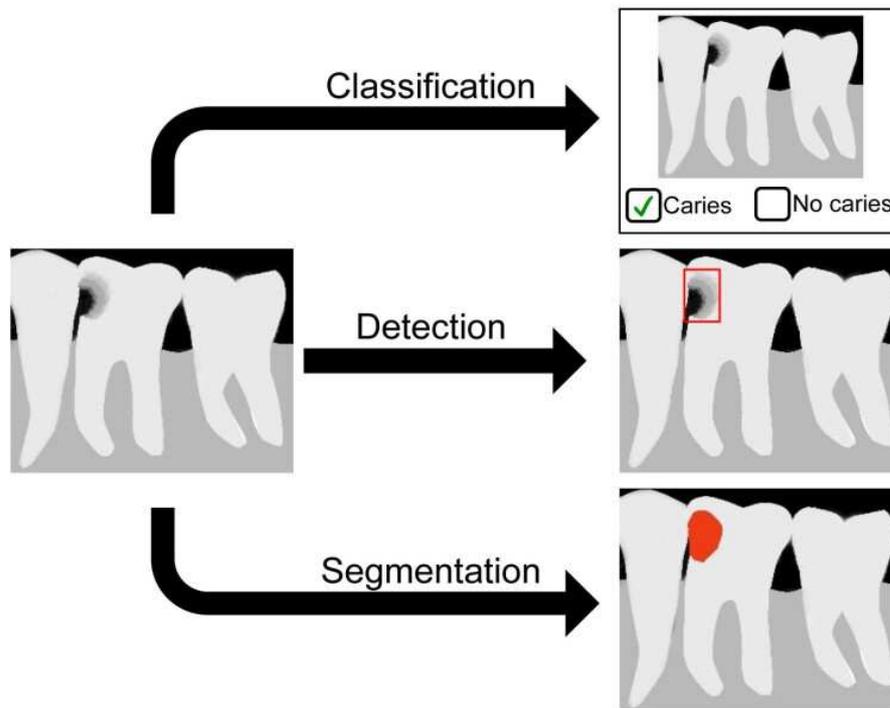
Inicialmente, o modelo foi avaliado em tempo real, sendo examinados o desempenho clínico, a precisão e o tempo necessário para realizar o diagnóstico. Em seguida, testaram sua aplicabilidade em ambiente clínico, com intuito de avaliar sua eficácia e segurança. Diante disso, pode-se concluir que o uso da IA demonstrou melhora significativa na capacidade dos dentistas de diagnosticar patologias.

A área médica rapidamente começou a se beneficiar dos avanços da inteligência artificial (IA), principalmente no que se diz respeito à aprendizagem profunda (DL) e as redes neurais convolucionais (CNNs), visto que demonstraram ter aumentado a confiança e a precisão dos profissionais - além de que podem resultar em melhores prognósticos e custo de tratamento reduzido. O estudo realizado por Schwendicke et al. (2022) avalia a relação custo-benefício com o aumento do conjunto de dados utilizado para treinar uma IA para detecção de cárie. A incerteza ao escolher entre uma opção de tratamento e outra é algo que deve ser quantificado - no caso da IA, se deve-se ou não utilizá-la na detecção de cárie. O intuito de quem investiga a atribuição desse sistema à rotina odontológica é reduzir essa incerteza para que quem pague pelos cuidados de saúde possa avaliar a chance de poupar dinheiro ao escolher a opção de tratamento. Ao aumentar o número de dados que treinam uma IA, o desempenho do diagnóstico também é aumentado. Concomitantemente a isso, é esperado que a incerteza da estimativa de desempenho reduza. No entanto, se esses fatores não forem lineares, o valor monetário do aumento do conjunto de dados também não é. Além disso, grupos de risco diferentes podem ter efeitos diferentes, ou então estão associados a outros parâmetros incertos, como os custos da IA. Estudos anteriores demonstraram que o uso de CNNs apresentava custo-benefício na detecção de cáries. Portanto, para realizar essa pesquisa, a CNN foi treinada em um conjunto de dados de imagens de 3.826 radiografias interproximais. Conclui-se que, mesmo havendo limitações decorrentes da aplicação do estudo em um cenário específico, ao aumentar os dados de treinamento da IA, houve uma melhora no custo-benefício. É evidente que a limitação nos aumentos dos dados acarretou a aumentos no custo-eficácia, e os benefícios do aumento do conjunto de dados são limitados.

Com a finalidade de aprofundar o conhecimento quanto a utilização da inteligência artificial para a radiologia odontológica, Putra et al. (2022) revisaram

estudos através das bases de dados PubMed e IEEE Xplore e de pesquisas manuais. Os autores afirmam que muitos pesquisadores da odontologia, principalmente os radiologistas, se interessaram pelos sistemas oferecidos pela IA, uma vez que possibilitam a identificação automática de padrões intrínsecos em dados de imagem, oferecendo uma análise quantitativa e possibilitando avaliações mais precisas e consistentes.

Figura 5 - Demonstração da classificação, detecção e segmentação da visão computacional para o reconhecimento da cárie em uma imagem radiográfica.



Fonte: Putra et al. (2022)

Além disso, o aprimoramento contínuo pode favorecer a personalização do planejamento de tratamentos odontológicos. Isso visa melhorar a capacidade de decisão sobre o tratamento, gerando resultados mais previsíveis. Esta revisão indica uma crescente no número de publicações que relacionam o uso de IA com radiografia dentária, sendo o Deep Learning (DL) o sistema de IA mais utilizado na odontologia. Com relação à cárie dentária, a utilização de sistemas como DL beneficiaria sua detecção, já que em algumas situações, a identificação de cáries por parte dos dentistas pode ser desafiadora devido à disparidade na exposição aos raios X, às distintas sensibilidades do sensor receptor e às variações naturais na densidade ou espessura dos dentes. No entanto, melhorias significativas são

necessárias antes dessa tecnologia ser integrada à prática clínica habitual. Pesquisas futuras na área devem ser interdisciplinares e aderir a diretrizes de relatórios para garantir um desenho de pesquisa consistente e maximizar o impacto do avanço da IA globalmente. A perspectiva é que a incorporação da IA na radiografia dentária revolucione o sistema de saúde bucal, proporcionando cuidados odontológicos aprimorados a custos mais acessíveis, resultando em benefícios para pacientes, profissionais de saúde e a sociedade em geral.

Kosan et al. (2022) levantaram dados que indicam a relação dos pacientes com o uso da inteligência artificial (IA) na odontologia - além de avaliar o conhecimento, atitude e confiança dos mesmos quanto a este tema. As aplicações de IA têm o potencial de fortalecer a confiança dos pacientes nos diagnósticos odontológicos e facilitar sua compreensão em relação às decisões de seus dentistas. No entanto, também é possível que a introdução dessa tecnologia levante preocupações e reservas entre os pacientes. Os autores utilizaram questionários para investigar as experiências dos participantes com radiografias dentárias, além de explorar seus conhecimentos e atitudes em relação à IA - bem como foram utilizados para avaliar de que forma a comunicação de um diagnóstico baseado em IA influenciou a confiança, crença e conhecimento dos participantes. As análises estatísticas realizadas incluíram análises de variância e regressão logística ordinal (OLR). Foi concluído que os pacientes expressaram confiança na usabilidade IA, sem demonstrar receio em relação à sua aplicação na odontologia. A idade, escolaridade e situação profissional dos pacientes foram associadas às suas atitudes em relação à IA para diagnóstico odontológico. A comunicação baseada em IA não afetou significativamente a confiança dos pacientes nos diagnósticos. Em resumo, os pacientes demonstraram uma postura positiva em relação à IA na odontologia, e os diagnósticos apoiados pela IA facilitaram a comunicação de achados radiográficos, aumentando a capacidade dos pacientes de considerar lesões cariosas.

A revisão sistemática de 42 estudos feita por Mohammad-Rahimi et al. (2022) teve intuito de avaliar o uso de modelos de aprendizagem profunda (DL) - em específico as CNNs - para detecção de cáries em radiografias e comparar seu desempenho quanto a precisão, especificidade e sensibilidade. A presença de lesões cariosas é algo muito prevalente na população, sendo o exame clínico uma

das formas mais comuns de diagnóstico. Embora os exames radiográficos sejam aliados para a detecção de cárie, ainda há uma notável divergência em seus resultados de diagnóstico e nas escolhas de tratamento. Visto isso, a DL pode ajudar os profissionais na hora de exercer essas funções. É notório um aumento significativo de pesquisas da aplicabilidade desses modelos na cariologia. No entanto, concluiu-se que, embora a precisão seja promissora, a qualidade dos estudos e relatórios ainda deixa a desejar.

O propósito da revisão sistemática feita por Khanagar et al. (2022) é analisar modelos baseados em inteligência artificial (IA) desenvolvidos para detectar e diagnosticar a doença cárie, além de avaliar a possibilidade do desenvolvimento dessa lesão. Para isso, foram analisados criticamente 34 artigos selecionados em bases de dados referentes ao período entre 2000 e 2022. Com base nessas análises, pode-se concluir que esses modelos demonstraram um desempenho excelente para identificar pacientes mais suscetíveis à cárie. Além disso, esses modelos podem contribuir para aprimorar o diagnóstico, a qualidade do tratamento e os resultados para os pacientes - bem como demonstram ser uma forma de apoio muito útil para dentistas na prática clínica. Apesar do excelente desempenho, é importante observar certas limitações relacionadas ao tamanho e à heterogeneidade dos conjuntos de dados relatados na maioria dos artigos revisados. Portanto, para otimizar sua funcionalidade, treinamento e validação adicionais fazem-se necessários.

Os autores Esmailyfard R., Bonyadifard H. e Paknahad M. (2023) realizaram o primeiro estudo com finalidade de avaliar a eficiência de algoritmos de aprendizado profundo (DL) para detecção de cárie dentária e categorização da abrangência e posição das lesões em imagens obtidas por tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). A cárie dentária, uma condição prevalente e potencialmente grave se não tratada, é comumente diagnosticada por meio de raios X, sendo a TCFC uma ferramenta significativa nesse processo. Enquanto a detecção de lesões de cárie em radiografias convencionais é desafiadora devido à representação bidimensional de estruturas tridimensionais, essa modalidade radiográfica supera essas limitações, proporcionando uma visão mais abrangente. Estudos anteriores destacam a superioridade da TCFC sobre sistemas de imagem digital intraoral, indicando avanços na precisão diagnóstica. No entanto, há uma

escassez de pesquisas sobre como as redes neurais performam na detecção de lesões de cárie em diferentes profundidades e localizações radiográficas. Este aspecto é crucial para considerações econômicas na área de saúde e para orientar decisões de tratamento, uma vez que os procedimentos para tratar cárie dentária variam conforme a profundidade e a localização da lesão. Para a realização deste estudo, foi utilizado um conjunto de dados de imagens de TCFC constituído por 382 dentes molares cariados e 403 não cariados, o qual foi fornecido a uma rede neural convolucional (CNN), que fez a classificação dos dentes quanto à presença ou ausência de cárie e os classificou de acordo com sua profundidade. Os resultados indicaram que a precisão no diagnóstico de cárie em molares cariados foi de 95,3%, com sensibilidade de 92,1%, especificidade de 96,3%, e pontuação F1 de 93,2%. Para molares não cariados, a acurácia foi de 94,8%, com sensibilidade de 94,3%, especificidade de 95,8%, e pontuação F1 de 94,6%. A rede neural convolucional (CNN) apresentou excelente desempenho, destacando-se por sua alta sensibilidade, especificidade e precisão na classificação das extensões e localizações das lesões de cárie. Dessa forma, conclui-se que os modelos de aprendizado profundo mostram habilidade notável em identificar com precisão a cárie dentária, exibindo alta acurácia, sensibilidade e especificidade. Além de que a eficácia demonstrada desses modelos na área promete contribuir de maneira substancial para aprimorar o diagnóstico e o planejamento do tratamento em odontologia, proporcionando benefícios tanto para os dentistas quanto para os pacientes.

O uso da inteligência artificial (IA) tem ocupado grande espaço nas pesquisas da área odontológica, isso porque os sistemas baseados em IA têm o potencial de auxiliar os profissionais dentários na formulação de estruturas de apoio à tomada de decisões clínicas, onde o diagnóstico e o prognóstico dos casos são essenciais. Portanto, é crucial que os dentistas compreendam o funcionamento dessa inteligência e estejam cientes de como podem ser assistidos por esses sistemas em suas responsabilidades de diagnóstico e tratamento. A revisão narrativa feita por Tabatabaian, Vora e Mirabbasi (2023) visa analisar as aplicações, funcionalidades e acurácia da inteligência artificial em diferentes áreas da odontologia restauradora. Uma amostra de 157 artigos foram incluídos, revisados e discutidos, chegando à conclusão de que os modelos de inteligência artificial têm apresentado resultados promissores nos aspectos mencionados da odontologia restauradora, demonstrando

uma precisão superior quando comparados às abordagens tradicionais. Contudo, dado que esses modelos ainda estão em fase de desenvolvimento, torna-se imperativo conduzir mais estudos para validar sua precisão e integrá-los de maneira efetiva à prática clínica diária.

Os autores Anil, Porwal e Porwal (2023) descrevem, em sua revisão, o potencial revolucionário que os avanços da inteligência artificial (IA) podem causar no diagnóstico de cárie. A detecção precoce é fundamental para o tratamento dessa patologia. Entretanto, os métodos convencionais usados no diagnóstico das lesões cáries apresentam limitações. Visto isso, a IA aplicada à odontologia tem potencial para aumentar a precisão, aprimorar a eficiência e personalizar o atendimento. Contudo, essa possibilidade também requer uma maior atenção aos desafios éticos, legais e técnicos. Todavia, ao enfrentarmos essas questões de maneira direta, podemos utilizar o potencial da inteligência artificial para aprimorar a saúde bucal e redefinir o panorama futuro dos cuidados odontológicos.

A revisão de literatura redigida por Jardim et al. (2023) visa analisar a literatura sobre o uso da Inteligência Artificial (IA) em exames odontológicos por imagem, considerando 70 estudos entre 2018 e 2021. Mais da metade alcançou acurácia acima de 80% com a IA, mas desafios surgiram na obtenção de amostras suficientes devido a a IA restrições éticas e legais. A falta de padronização na segmentação e processamento de imagens também implicou complicações. Apesar das limitações, os estudos ofereceram sugestões para superar esses obstáculos. Conclui-se que a IA mostrou promessa, muitas vezes superando profissionais humanos, mas desafios precisam ser superados para sua integração eficaz na prática clínica.

## 4 DISCUSSÃO

A cárie dentária é uma das doenças crônicas mais prevalentes em todo o mundo. Tradicionalmente, a abordagem diagnóstica padrão para a cárie envolve a análise clínica combinada com a avaliação radiográfica. (CANTÚ et al., 2020; KÜNISCH et al., 2021; LEE et al., 2021; EZHOV et al., 2021; ESMAEILYFARD; BONYADIFARD; PAKNAHAD, 2023) No entanto, estudos destacaram uma considerável variabilidade relacionada ao nível de confiança e precisão desse método, especialmente devido a subjetividade diagnóstica por parte dos cirurgiões dentistas, já que as conclusões tomadas são embasadas em seus conhecimentos prévios. A sensibilidade pode variar entre 19–92% para lesões oclusais e 39–94% para lesões proximais de cárie. Diversos elementos, tais como a presença de sombras, variações de contraste e níveis de brilho nas radiografias, têm o potencial de impactar o processo diagnóstico. (KHANAGAR et al., 2022) Para o tratamento de lesões de cárie, enfatiza-se a detecção precoce e a aplicação de terapias não invasivas ou micro invasivas, reservando a terapia restauradora convencional como último recurso para lesões avançadas. (CANTÚ et al., 2020) Visto isso, a Inteligência Artificial (IA) tem um potencial revolucionário dentro da Odontologia, uma vez que pode servir como uma segunda opinião para os dentistas, ajudando-os a detectar cáries precoces que podem passar despercebidas durante os exames clínicos e radiográficos. (TABATABAIAN; VORA; MIRABBASI, 2023) melhorando a precisão, a eficiência e os resultados do tratamento. (KHANAGAR et al., 2022)

A IA é um ramo da ciência da computação que envolve o desenvolvimento de máquinas inteligentes capazes de realizar tarefas que normalmente exigem inteligência humana. No contexto do atendimento odontológico, algoritmos de IA podem ser usados para detectar cáries dentárias por meio da análise de radiografias ou imagens intraorais. Esses algoritmos, geralmente baseados em modelos de aprendizado profundo (DL), podem analisar as imagens e identificar com precisão a presença de cárie dentária. Eles podem distinguir lesões cariosas de tecidos saudáveis, determinar a localização e a extensão da cárie e fornecer uma análise padronizada para profissionais de odontologia. A tecnologia de IA na detecção de cárie tem mostrado um potencial significativo na melhoria da precisão e eficiência do diagnóstico em comparação com as inspeções tradicionais. (PRADOS-PRIVADO et

al., 2020; LEE et al., 2021; KHANAGAR et al., 2022; ANIL; PORWAL P.; PORWAL A., 2023)

O aprendizado profundo (DL) é um tipo de inteligência artificial que usa redes neurais para analisar e processar dados. Isso envolve treinar um modelo com um grande conjunto de dados e permitir que ele aprenda padrões e recursos por conta própria. No contexto da detecção de cárie dentária, algoritmos de aprendizado profundo, como redes neurais convolucionais (CNNs), têm sido usados para analisar imagens dentárias e identificar com precisão a presença de lesões de cárie. Esses algoritmos usam grandes quantidades de dados de imagens radiográficas para aprender os padrões e características associados à cárie, permitindo que eles detectem e diagnostiquem essa patologia com alta precisão. Ao aproveitar as técnicas de aprendizado profundo, os dentistas podem aprimorar a sensibilidade e a eficiência do diagnóstico de cárie, levando a melhores resultados clínicos e tratamentos preventivos mais eficazes. (EZHOV et al., 2021) e (ANIL; PORWAL P.; PORWAL A., 2023) No entanto, é importante observar que o desempenho no diagnóstico dos modelos de IA pode variar dependendo do algoritmo usado e dos dados de treinamento disponíveis. (PRADOS-PRIVADO et al., 2020) A precisão dos modelos de IA é influenciada por fatores como o tipo de modelo aplicado, o tamanho e a qualidade dos dados de treinamento e o método de validação. (KÜNISCH et al., 2021) Embora os modelos de DL tenham demonstrado alta precisão em determinadas tarefas, eles devem ser considerados como uma ferramenta de assistência diagnóstica, em vez de um substituto para o julgamento profissional. (SOFFER et al., 2019) A confiabilidade e a generalização desses modelos ainda precisam ser verificadas por meio de pesquisas adicionais e avaliações clínicas .

Os principais obstáculos relacionados ao uso do aprendizado profundo para detectar cáries são: a necessidade de conjuntos de dados grandes e diversos para treinar os modelos, garantia da privacidade e da segurança dos dados e estabelecer uma estrutura ética e legal adaptada aos desafios exclusivos da IA na odontologia. (KHANAGAR et al., 2022; ANIL; PORWAL P.; PORWAL A., 2023) Os modelos de aprendizado profundo exigem grandes quantidades de dados para treinamento, validação e testes, incluindo informações confidenciais do paciente, o que levanta preocupações quanto à privacidade e a segurança dos dados. (LEE et al., 2021) Além disso, os modelos de IA podem fazer diagnósticos injustos ou discriminatórios

se os dados de treinamento forem tendenciosos, destacando a necessidade de conjuntos de dados diversos e representativos para mitigar esse problema. (TABATABAIAN; VORA; MIRABBASI, 2023) Ademais, a integração da IA na prática odontológica requer uma navegação cuidadosa dos desafios éticos e legais, exigindo o desenvolvimento de uma estrutura ética específica para a IA na odontologia. (PRADOS-PRIVADO et al., 2020) Outro grande empecilho para a avaliação precisa dos modelos de CNNs é a utilização frequente de diferentes conjuntos de dados por parte dos estudos desenvolvidos, complicando ainda mais a comparação dos resultados. (SCHWENDICKE et al., 2022) Para superar estes desafios, estudos futuros devem procurar utilizar conjuntos de dados padronizados - bem como métodos de rotulagem e métricas de avaliação - para garantir a comparabilidade e reprodutibilidade dos resultados. (SOFFER et al., 2019) No geral, abordar esses obstáculos é crucial para a implementação bem-sucedida do aprendizado profundo na detecção de cáries.

Com relação ao custo-benefício, o uso do aprendizado profundo (DL) pode ser avaliado considerando vários fatores. O DL exige recursos computacionais significativos, incluindo hardware de alto desempenho e grandes quantidades de dados para treinamento. Isso pode resultar em altos custos iniciais de aquisição e manutenção da infraestrutura necessária. No entanto, o DL tem o potencial de fornecer benefícios significativos em termos de precisão e eficiência em tarefas como reconhecimento de imagem, processamento de linguagem natural e análise de dados. Os modelos de DL podem aprender padrões complexos e fazer previsões precisas, o que pode levar a uma melhor tomada de decisão e à economia de custos em vários setores. Além disso, o DL pode automatizar tarefas repetitivas e reduzir a necessidade de intervenção manual, resultando em maior produtividade e economia. Portanto, embora o investimento inicial em DL possa ser alto, os benefícios a longo prazo podem superar os custos. (HOSNY et al., 2018)

A utilização da Inteligência Artificial no diagnóstico de cáries proporciona um desempenho notável, com elevada precisão e sensibilidade. Isso aprimora tanto o processo diagnóstico quanto a qualidade do tratamento, resultando em melhores desfechos para os pacientes. Além disso, a IA permite a identificação precoce de pacientes com maior risco de desenvolver cárie. (KHANAGAR et al., 2022) Diante do potencial de precisão demonstrado com o uso das técnicas baseadas em IA para o

diagnóstico da cárie, o futuro da inteligência artificial na odontologia demonstra-se promissor. (ANIL; P. PORWAL e A. PORWAL, 2023)

## 5 CONCLUSÃO

Embasada na literatura consultada, pode-se concluir que:

- A Inteligência Artificial, principalmente os modelos de aprendizagem profunda arquitetados em CNNs, podem ser importantes aliados aos cirurgiões-dentistas objetivando maior precisão diagnóstica;
- Embora os modelos de DL tenham demonstrado alta precisão em determinadas tarefas, eles devem ser considerados como uma ferramenta de assistência ao diagnóstico;
- Mesmo que a adaptação clínica dos modelos de aprendizagem profunda exija recursos computacionais significativos, os benefícios a longo prazo podem superar os custos;
- Estudos futuros devem utilizar modelos de CNNs padronizadas que apresentem resultados possíveis de serem comparados para avaliar sua real aplicabilidade clínica;
- Faz-se necessário o desenvolvimento de uma estrutura ética específica para a IA na odontologia;

## REFERÊNCIAS

JARDIM, J. J. et al. Inteligência Artificial aplicada aos exames de imagens odontológicos - uma revisão de literatura. **Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre**, v. 64, e128781, 2023.

KHANAGAR, S. B. et al. Desenvolvimentos, aplicação e desempenho da inteligência artificial em odontologia – Uma revisão sistemática. **Revista de ciências odontológicas**, v. 16, n. 1, pág. 508-522, 2021.

PUTRA, R. H. et al. Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 51, n. 1, p. 20210197, 2022.

HOSNY, A. et al. Artificial intelligence in radiology. **Nature Reviews Cancer**, v. 18, n. 8, p. 500-510, 2018.

ESMAEILYFARD, R; BONYADIFARD, H; PAKNAHAD, M. Dental Caries Detection and Classification in CBCT Images Using Deep Learning. **International Dental Journal**, 2023.

SOFFER, S. et al. Convolutional neural networks for radiologic images: a radiologist's guide. **Radiology**, v. 290, n. 3, p. 590-606, 2019.

KOSAN, E. et al. Patients' perspectives on artificial intelligence in dentistry: a controlled study. **Journal of Clinical Medicine**, v. 11, n. 8, p. 2143, 2022.

MERTENS, S. et al. Artificial intelligence for caries detection: Randomized trial. **Journal of dentistry**, v. 115, p. 103849, 2021.

SCHWENDICKE, F. et al. Artificial intelligence for caries detection: value of data and information. **Journal of dental research**, v. 101, n. 11, p. 1350-1356, 2022.

KÜHNISCH, J. et al. Caries detection on intraoral images using artificial intelligence. **Journal of dental research**, v. 101, n. 2, p. 158-165, 2022.

PRADOS-PRIVADO, M. et al. Dental caries diagnosis and detection using neural networks: a systematic review. **Journal of clinical medicine**, v. 9, n. 11, p. 3579, 2020.

CANTU, A. G. et al. Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. **Journal of dentistry**, v. 100, p. 103425, 2020.

TABATABAIAN, F. ; VORA, S. R.; MIRABBASI, S. Applications, functions, and accuracy of artificial intelligence in restorative dentistry: A literature review. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 35, n. 6, p. 842-859, 2023.

MOHAMMAD-RAHIMI, H. et al. Deep learning for caries detection: A systematic review. **Journal of Dentistry**, v. 122, p. 104115, 2022.

SCHWENDICKE, F. et al. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. **Journal of dentistry**, v. 91, p. 103226, 2019.

LEE, S. et al. Deep learning for early dental caries detection in bitewing radiographs. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 16807, 2021.

EZHOV, M. et al. Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 15006, 2021.

KHANAGAR, S. B. et al. Application and performance of artificial intelligence technology in detection, diagnosis and prediction of dental caries (DC)—A systematic review. **Diagnostics**, v. 12, n. 5, p. 1083, 2022.

ANIL, S.; PORWAL, P.; PORWAL, A. Transforming dental caries diagnosis through artificial intelligence-based techniques. **Cureus**, v. 15, n. 7, 2023.