

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULA DRESCH PORTELLA

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LESÕES INICIAIS DE CÁRIE DENTÁRIA
UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO

CURITIBA

2023

PAULA DRESCH PORTELLA

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LESÕES INICIAIS DE CÁRIE DENTÁRIA
UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, nível doutorado, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Odontologia, área de concentração: Odontopediatria.

Orientadora: Prof. Dra. Luciana Reichert
Assunção Zanon

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Ferrari de
Oliveira

CURITIBA

2023

Portella, Paula Dresch

Detecção automática de lesões iniciais de cárie dentária utilizando aprendizado profundo [recurso eletrônico] / Paula Dresch Portella – Curitiba, 2023.

1 recurso online: PDF.

Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia.
Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, 2023.

Orientador: Profa. Dra. Luciana Reichert Assunção Zanon
Coorientador: Prof. Dr. Lucas Ferrari de Oliveira

1. Cárie dentária. 2. Aprendizado profundo. 3. Tomada de decisão clínica.
I. Zanon, Luciana Reichert Assunção. II. Oliveira, Lucas Ferrari de.
III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 617.67



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ODONTOLOGIA -
40001016065P8

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ODONTOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **PAULA DRESCH PORTELLA** intitulada: **DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LESÕES INICIAIS DE CÁRIE DENTÁRIA UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO**, sob orientação da Profa. Dra. LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 01 de Março de 2023.

Assinatura Eletrônica

01/03/2023 18:41:45.0

LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

06/03/2023 14:29:49.0

EDUARDO TODT

Avaliador Externo (PPG INFORMÁTICA - UFPR)

Assinatura Eletrônica

03/03/2023 15:25:53.0

MAUREN ABREU DE SOUZA

Avaliador Externo (PONTIFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO
PARANA)

Assinatura Eletrônica

01/03/2023 16:23:28.0

ANA PAULA GEBERT DE OLIVEIRA FRANCO

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA
RESTAURADORA)

Av. Prof. Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4134 - E-mail: posodontoufpr@gmail.com

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 260821

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 260821

Aos profissionais que atuam na saúde pública e na ciência brasileira, por resistirem e lutarem por um Brasil para todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Paraná e ao seu Programa de Pós-Graduação em Odontologia pela oportunidade de cursar o Doutorado em uma instituição pública, gratuita e de excelência, rodeada por profissionais dedicados e competentes do corpo docente e discente, secretaria e coordenação.

À minha querida orientadora, Prof^a Dra. Luciana Zanon, pela inspiração de profissional humana, atenciosa, competente, corajosa e determinada. Por idealizar esta pesquisa, pela qual me apaixonei desde o início, e por não medir esforços para que este trabalho acontecesse, mesmo com tantos desafios impostos pela pandemia. Agradeço também por acreditar em mim e por sempre me orientar com tanto carinho e preocupação. Ser sua orientada é um privilégio.

Ao meu coorientador, Prof^o Dr. Lucas Ferrari, pelo comprometimento, pela dedicação e por aceitar o desafio de coorientar uma aluna da pós-graduação de Odontologia. Obrigada por ter acreditado nesta pesquisa e por ter depositado sua confiança em mim. Foi um imenso prazer aprender e poder realizar este trabalho sob sua orientação.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia pelos ensinamentos e conselhos ao longo desses anos e por sempre me incentivarem. Em especial aos professores Dr. Fabian Fraiz, Dra. Juliana Feltrin e Dr. José Vítor Menezes, profissionais pelos quais tenho profunda admiração e carinho.

Ao Biobanco de Dentes Humanos do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Paraná, em especial à Prof^a. Dra. Yasmine Mendes Pupo e ao técnico responsável Alan Miguel Brum da Silva.

Ao Banco de Dentes Humanos do Setor de Ciências Biológicas da Saúde da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em especial à Prof^a. Dra. Stella Kossatz Pereira.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos e incentivo financeiro.

Às alunas de iniciação científica de Odontologia, Bruna Dias e Patrícia Bortolanza, e aos alunos de graduação de Informática Biomédica, Rafael Augusto de Campos e Matheus Ferreira, pela dedicação e contribuição nesta pesquisa.

Aos meus alunos, pacientes e colegas de trabalho.

Aos meus amigos, em especial à Bruna Menoncin, Aline Midori e Nicole Perdoncini, que foram um “ombro” nos momentos difíceis e um “sorriso” nas conquistas.

À Rita e ao Eugênio pelo carinho e por sempre torcerem pelo meu sucesso.

Aos meus sobrinhos Leonardo e Lina pelo amor genuíno e por me motivarem simplesmente por existirem. Ser a “Tia dinda” de vocês enche meu coração de alegria.

Às minhas irmãs Juliane e Danielly e ao meu irmão Vinícius e à sua esposa, Brisa, por sempre mostrarem interesse pela minha caminhada e por me encorajarem.

Aos meus pais, Eliane e Alan, por serem meus eternos apoiadores e incentivadores. O amor incondicional e a admiração que têm por mim é o que me movem a procurar ser sempre melhor.

À Jujuba, por ser minha companheira durante as longas horas de *home office* e por me alegrar e me descontraír nos momentos que precisei.

Ao meu amor, que se tornou meu marido durante o doutorado, Hugo Felipe Gequelim, pela paciência e pelo companheirismo em todas as horas. Obrigada por todos os incentivos e conselhos que vieram em resposta aos meus desabafos e incertezas. Seu apoio durante esses quatro anos foram fundamentais para que eu pudesse concluir essa etapa.

À Deus por permitir que eu continue realizando tantos sonhos. Por guiar meus passos e colocar no meu caminho pessoas tão especiais.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Sem vocês nada disso seria possível.

RESUMO

A cárie dentária é a segunda doença que mais acomete a saúde dos seres humanos e a detecção de suas lesões pode representar um desafio para os clínicos, especialmente em seus estágios iniciais. A alta variabilidade dos aspectos clínicos das lesões cariosas, a subjetividade dos índices utilizados para a sua classificação e as limitações nos exames complementares de diagnóstico são fatores que podem dificultar a detecção precoce da doença. Nesse contexto, algoritmos de inteligência artificial, como as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) de aprendizado profundo podem desempenhar um importante auxílio na detecção das lesões cariosas, tornar as decisões clínicas mais rápidas e aumentar a assertividade dos tratamentos propostos. Neste trabalho, é investigada a eficiência de uma CNN para classificar padrões de hígidez e de lesões iniciais de cárie dentárias, bem como a aplicabilidade das redes no auxílio ao diagnóstico da cárie dentária. Para isso, foram selecionados 2.481 dentes posteriores extraídos, sendo 2.459 permanentes e 22 decíduos, com diferentes estágios de lesões de cárie dentária, de acordo com o segundo código do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS). Após a avaliação clínica e a identificação, as superfícies oclusais dos dentes foram fotografadas com câmera digital profissional, a fim de obter dados para aprendizagem da CNN. A base de treinamento e validação da rede foi composta por 8.549 imagens de treinamento e 200 imagens de validação, totalizando 8.749 imagens. Já a base de teste foi formada por 140 fotos, não utilizadas no treinamento, sendo 70 de dentes hígidos (ICDAS-0) e 70 de dentes com lesões iniciais de cárie dentária (ICDAS-2). A rede treinada (VGG-19) apresentou 0,879 de acurácia, 0,827 de sensibilidade, 0,949 de precisão e F1-Score de 0,887. Para verificar o desempenho da VGG-19 no auxílio ao diagnóstico das lesões iniciais de cárie dentária, três examinadores (um aluno de graduação – AG, um cirurgião-dentista recém-graduado - CG e um especialista em odontopediatria - EO) realizaram o diagnóstico de cárie dentária, de maneira cega e independente, nas 140 fotografias da base teste (fase I). Em um segundo momento (fase II), os examinadores reavaliaram os mesmos dentes, dispondo dos resultados de detecção da CNN. Na fase I a acurácia dos examinadores foi de AG=0,543, CG=0,771 e EO=0,807, já na fase II foi de AG=0,679, CG=0,886 e EO=0,857. O número de acertos foi significativamente maior comparando as Fases I e II para todos os examinadores (Teste de McNemar, $P < 0,005$). Com base nestes resultados, conclui-se que a VGG-19 apresenta bom desempenho tanto na detecção de padrões de hígidez e de lesões cariosas iniciais em superfícies oclusais, quanto no auxílio ao diagnóstico de lesões iniciais de cárie dentária.

Palavras-chave: cárie dentária; aprendizado profundo; rede neurais. tomada de decisão clínica.

ABSTRACT

Dental caries is the second disease that most affects the health of human beings, and the detection of its lesions can represent a challenge for clinicians, especially in its initial stages. The high variability of the clinical aspects of carious lesions, the subjectivity of the indices used for their classification, and the limitations in complementary diagnostic tests are factors that may hinder the early detection of the disease. In this context, artificial intelligence algorithms such as deep learning Convolutional Neural Networks (CNNs) may play an important role in the detection of carious lesions, to make clinical decisions faster and to increase the assertiveness of proposed treatments. In this work, the efficiency of a CNN to classify patterns of health and initial lesions of dental caries is investigated, as well as the applicability of networks in aiding the diagnosis of dental caries. For this, 2,481 extracted posterior teeth were selected, 2,459 permanent and 22 deciduous, with different stages of dental caries lesions, according to the second code of the International System for Detection and Evaluation of Caries (ICDAS). After clinical evaluation and identification, the occlusal surfaces of the teeth were photographed with a professional digital camera to obtain data for CNN learning. The training and validation base of the network was composed of 8,549 training images and 200 validation images, totaling 8,749 images. The test base was formed by 140 photos not previously used, 70 of healthy teeth (ICDAS-0) and 70 of teeth with initial lesions of dental caries (ICDAS-2). The trained neural network (VGG-19) presented 0.879 of accuracy, 0.827 of sensitivity, 0.949 of precision and F1-Score of 0.887. To verify the performance of the VGG-19 in aiding the diagnosis of initial lesions of dental caries, three examiners (being an undergraduate student=AG, a newly graduated dental surgeon=CG and a specialist in Pediatric Dentistry=EO) performed the diagnosis of dental caries, blindly and independently, in the 140 photographs of the test base (phase I). In a second moment (phase II), the examiners reassessed the same teeth, having the CNN detection results available. In phase I, the examiners' accuracy was AG=0.543, CG=0.771 and EO=0.807, while in phase II it was AG=0.679, CG=0.886 and EO=0.857. The number of correct answers was significantly higher comparing Phases I and II for all examiners (McNemar Test, $P < 0.005$). Based on these results, it is concluded that VGG-19 performs well both in the detection of health patterns and initial carious lesions on occlusal surfaces, and in aiding the diagnosis of initial dental caries lesions.

Key-words: dental caries; deep learning; neural networks, computer; clinical decision-making.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MODELO DOS NEURÔNIOS UTILIZADOS NA RNA.....	22
FIGURA 2 - ESTÁGIOS DE UMA REDE CONVOLUCIONAL SIMPLIFICADA.....	24
FIGURA 3 - DENTRO DE UMA REDE CONVOLUCIONAL.....	25
FIGURA 4 - CONVOLUÇÃO EM UMA IMAGEM DE ENTRADA COM UM FILTRO 5x5.....	26
FIGURA 5 - OPERAÇÃO MAX POOLING.....	27
FIGURA 6 - ARQUITETURA DE VARIAÇÕES DO MODELO VGG.....	28
FIGURA 7 - IDENTIFICAÇÃO E FIXAÇÃO DE UM DENTE EXTRAÍDO.....	40
FIGURA 8 - ASPECTOS CLÍNICOS DE SUPERFÍCIES DENTÁRIAS CLASSIFICADAS PELO SEGUNDO CÓDIGO DO ÍNDICE ICDAS.....	41
FIGURA 9 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO HÍGIDO NO LABEL IMAGE.....	44
FIGURA 10 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSAS CÓDIGO 2 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.....	44
FIGURA 11 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSAS CÓDIGO 3 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.....	44
FIGURA 12 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSAS CÓDIGO 4 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.....	45
FIGURA 13 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSAS CÓDIGO 5 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.....	45
FIGURA 14 - EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSAS CÓDIGO 6 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.....	45
FIGURA 15 - EXEMPLO DO PROCESSO DE RECORTE DAS IMAGENS DE DENTES EXTRAÍDOS NA BASE DE DADOS PORTELLA et al. (2023): A: dente ICDAS-0; B: dente ICDAS-2; C: dente ICDAS-3; D: dente ICDAS-4; E: dente ICDAS-5; F: dente ICDAS-6.....	46
FIGURA 16 - EXEMPLO DA CRIAÇÃO DE DADOS SINTÉTICOS NA BASE DE DADOS PORTELLA et al. (2023): (a) AMOSTRA ORIGINAL; (b) AMOSTRAS SINTÉTICAS.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MATRIZ DE CONFUSÃO GENÉRICA DE DUAS CLASSES.....	29
TABELA 2 - USO DAS REDES NEURAS CONVOLUCIONAIS PARA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE DENTÁRIA EM FOTOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS (2023)	37-38
TABELA 3 - NÚMERO DE IMAGENS ORIGINAIS (FOTOGRAFIAIS OCLUSAIS DE DENTES EXTRAÍDOS) NA BASE INICIAL E NÚMERO DE IMAGENS NA BASE FINAL, APÓS O PRÉ- PROCESSAMENTO.....	43
TABELA 4 - NÚMERO DE IMAGENS UTILIZADAS PARA A APRENDIZAGEM PROFUNDA DA VGG-19 NAS BASES DE TREINAMENTO E DE TESTES.....	47

LISTA DE SIGLAS

AUC	- Área abaixo a curva ROC
AG	- Aluno de graduação
BDH	- Banco de Dentes Humanos
CAAE	- Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
ceo-d	- Cariados, extraídos e obturados na dentição decídua
CG	- Cirurgião-dentista recém-graduado
CLAIM	- <i>Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging</i>
CNN	- Rede Neural Convolucional
CP	- Cárie primária
CPO-D	- Cariados, Perdidos e Obturados na dentição permanente
CS	- Cárie secundária
DL	- <i>Deep Learning</i>
dpi	- Pontos por polegada
EO	- Especialista em Odontopediatria
FN	- Falso Negativo
FP	- Falso Positivo
GBD	- <i>Global Burden of Disease</i>
IA	- Inteligência Artificial
IBM	- <i>International Business Machines Corporation</i>
ICDAS	- Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie
ID	- Número de identificação
ILSVRC	- <i>ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
JPG	- <i>Joint Photographics Experts Group</i>
K	- <i>Kappa value</i>
LC	- Lesão cariiosa cavitada
LED	- <i>Light Emitting Diode</i>
LI	- Lesão cariiosa inicial
ML	- <i>Machine Learning</i>
M-RCNN	- <i>Mascked Region-based Convolutional Neural Networks</i>
NPV	- <i>Negative predictive value</i>

PPV	- <i>Positive predictive value</i>
RGB	- <i>Red, green and blue value</i>
RNA	- Rede Neural Artificial
ROC	- <i>Receiver Operator Characteristic curve</i>
STARD	- <i>Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy Studies</i>
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UEPG	- Universidade Estadual de Ponta Grossa
VN	- Verdadeiro Negativo
VP	- Verdadeiro Positivo
VGG-19	- Rede Neural Convolucional com 19 camadas profundas
WHO	- <i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	21
3.2	APRENDIZADO PROFUNDO.....	22
3.2.1	REDES NEURAS CONVOLUCIONAIS.....	23
3.2.1.1	Convoluções.....	25
3.2.1.2	Agregação.....	26
3.2.1.3	VGG-19.....	27
3.2.2	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	28
3.3	USO DO APRENDIZADO PROFUNDO NA ODONTOLOGIA.....	31
3.5	CÁRIE DENTÁRIA E A IMPORTÂNCIA DA SUA DETECÇÃO POR MÉTODOS AUTOMÁTIZADOS.....	31
4	METODOLOGIA.....	39
4.1	ASPECTOS ÉTICOS.....	39
4.2	AMOSTRA.....	39
4.3	EXAME CLÍNICO.....	40
4.4	CALIBRAÇÃO DOS EXAMINADORES.....	41
4.5	FOTOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS.....	42
4.6	BASE DE IMAGENS E PRÉ- PROCESSAMENTO.....	43
4.7	TREINAMENTO E TESTE DA VGG-19.....	47
5	CAPÍTULO (ARTIGO).....	49
	RESUMO.....	50
	INTRODUÇÃO.....	51
	METODOLOGIA.....	53
	RESULTADOS.....	57
	DISCUSSÃO.....	58
	CONCLUSÃO.....	60
	AGRADECIMENTOS.....	61

	REFERÊNCIAS.....	61
	TABELAS.....	67
	FIGURAS.....	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
7	REFERÊNCIAS.....	70
8	APÊNDICES E ANEXOS.....	80
	ANEXO 1 - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA.....	81
	ANEXO 2 - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA (EMENDA)	86
	ANEXO 3 - STANDARDS FOR REPORTING OF DIAGNOSTIC ACCURACY STUDIES (STARD).....	90
	ANEXO 4 - CHECKLIST FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL IMAGING (CLAIM).....	93
	ANEXO 5 - DECLARAÇÃO DE CONCORDÂNCIA DE SERVIÇOS ENVOLVIDOS BDH - UFPR.....	94
	ANEXO 6 - DECLARAÇÃO DE CONCORDÂNCIA DE SERVIÇOS ENVOLVIDOS BDH - UEPG.....	95
	ANEXO 7 - CRITÉRIO DO ÍNDICE DO SISTEMA INTERNACIONAL DE DETECÇÃO E AVALIAÇÃO DE CÁRIE (ICDAS).....	96
	CRITÉRIOS PARA A SUBMISSÃO DA REVISTA “JOURNAL OF DENTISTRY”	96

1 INTRODUÇÃO

A cárie dentária é a segunda doença que mais acomete a saúde dos seres humanos (GBD, 2018) e sua etiologia é multifatorial e dinâmica (LIMA, 2007). O aparecimento das lesões cariosas é resultado de um desequilíbrio entre os processos de des e remineralização dos tecidos duros do dente (KIDD; FEJERSKOV, 2004), determinado pelo consumo frequente de alimentos contendo açúcar, associado à uma higiene bucal deficiente (LIMA, 2007). Fatores socioeconômicos e demográficos, como a desnutrição, a falta de acesso ao flúor, a baixa renda e a escolaridade familiar (KIRTHIGA et al., 2019; ZHOU et al., 2012); e biológicos, como a predisposição genética (OPAL et al., 2015), o alto índice de bactérias cariogênicas - como o *Streptococcus mutans*¹ (SOUNAH; MADFA, 2020) - e a presença de defeitos de desenvolvimento de esmalte (COSTA et al., 2017), têm sido apontados como fatores moduladores do desenvolvimento da doença.

Por não regredir espontaneamente e nem ser passível de cura por intervenções farmacológicas de curto prazo, as lesões cariosas podem trazer efeitos negativos na qualidade de vida dos indivíduos (GARCÍA-PÉREZ et al., 2017; LACERDA et al., 2008; MOTA-VELOSO et al., 2016; ONORIOBE et al., 2014; RAMOS-JORGE et al., 2014; SCARPELLI et al., 2013; SHEIHAM et al., 2001), sendo o principal motivo da dor de origem dentária (BOEIRA et al., 2012; BRASIL, 2012; LACERDA et al., 2008). Além disso, como consequência da progressão da doença, pode ocorrer dificuldade mastigatória, diminuição do apetite, perda de peso, dificuldade para dormir (ARROW, 2013; BOEIRA et al., 2012; GOUVÊA et al., 2018), alteração no comportamento, diminuição do rendimento escolar (KAEWKAMNERDPONG; KRISDAPONG, 2018), e absenteísmo no trabalho (GOUVÊA et al., 2018; LACERDA et al., 2008).

Clinicamente, a cárie dentária pode apresentar lesões de diferentes aspectos, de acordo com seu estágio de desenvolvimento, e, portanto, demandar diferentes tipos de intervenções (OMS, 2013). As manchas brancas iniciais, consideradas lesões reversíveis, são passíveis de inativação através de

¹ *Streptococcus mutans* é uma espécie de bactérias Gram-positivas com morfologia de coco, pertencentes ao gênero *Streptococcus*, do grupo A de Lancefield, intimamente relacionada com a ocorrência da cárie dentária (BOLDEN, 1991).

procedimentos não-invasivos de prevenção (PITTS et al., 2019). As cavidades, por outro lado, como há perda de estrutura dentária, requerem procedimentos operatórios de média à alta complexidade, dependendo da profundidade da lesão. Neste sentido, somados à importância do diagnóstico da carie dentária frente a sua alta prevalência e o seu impacto na saúde e no bem-estar dos indivíduos, a detecção precoce e o estabelecimento do correto estágio da lesão tornam-se fundamentais para a elaboração de um plano de tratamento mais adequado e conservador (MACHIULSKIENE et al., 2019).

O principal método diagnóstico utilizado para a detecção de lesões cariosas é o exame visual, realizado em consultório sob luz artificial e com auxílio de sonda exploradora de ponta romba (OMS, 2013). Além de ser um método confiável, não-invasivo, de custo acessível e de rápida execução, esse exame permite a detecção de lesões em seus estágios iniciais (GOMES et al., 2015; MARINHO; PEREIRA, 1998). Ademais, diferente de outros métodos de diagnóstico, o exame visual permite a avaliação da atividade, profundidade e do potencial de retenção das lesões cariosas (MACHIULSKIENE et al., 2020). Para preservar a sensibilidade e o alto grau de especificidade desse método, alguns sistemas têm sido desenvolvidos, a fim de diminuir a influência da experiência do clínico durante a sua execução (CLOVIS et al., 2012; MANSKI; PARKER, 2010). O índice do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS), proposto por Ismail (ISMAIL et al., 2007) tem sido amplamente utilizado, pois possibilita a avaliação das superfícies dentárias híginas e cariadas, diferenciando as lesões cariosas desde seus estágios iniciais até os mais graves, já que abrange diversos aspectos clínicos e proporciona uma visão completa da real situação do dente. Ademais, a literatura demonstra que o ICDAS possui uma precisão diagnóstica equiparável ao exame histológico para detecção de cáries oclusais (ALLA; MESSIRY, 2020; CARVALHO et al., 2018).

Apesar dos benefícios da sistematização do exame clínico através de critérios bem estabelecidos, a acurácia do índice ICDAS depende diretamente da expertise do clínico e da realização de treinamentos prévios (ISMAIL et al., 2007). Para diminuir a interferência da subjetividade do clínico durante a realização do exame visual, alguns métodos diagnósticos auxiliares são amplamente utilizados na detecção da carie dentária (SOARES et al., 2012). Há algumas décadas, a Odontologia lança mão das radiografias, das tomografias,

da transiluminação e do exame histológico como exames complementares (GOMEZ, 2015). Contudo, esses métodos apresentam importantes limitações inerentes à sua aplicabilidade clínica, visto seus custos, seus processos e sua baixa efetividade na detecção de lesões cariosas nos estágios mais iniciais (FOROS et al., 2021). As radiografias e as tomografias, por exemplo, apesar de serem métodos auxiliares comuns da prática clínica, demandam uma aparelhagem específica e, portanto, requerem investimento financeiro expressivo do clínico. Esses métodos apresentam alta sensibilidade na detecção de lesão de cárie dentinária, porém não são eficazes no auxílio ao diagnóstico de manchas brancas e cavidades superficiais, pois possuem baixa sensibilidade para a detecção de lesões iniciais em esmalte (FOROS et al., 2021). Além disso, quando se trata da detecção de lesões cariosas oclusais, o exame radiográfico torna-se muitas vezes ineficiente em razão das sobreposições das cúspides (DAYO et al., 2021). Por outro lado, a transiluminação com radiação infravermelho mostra bons resultados em lesões cariosas oclusais, entretanto não apresenta mais benefícios que os métodos visual ou radiográfico, tornando o investimento para sua utilização, muitas vezes, injustificável para o clínico (LUSSI et al. 1999).

O diagnóstico precoce requer procedimentos capazes de detectar as primeiras alterações no conteúdo mineral do dente de forma objetiva e simples, permitindo a quantificação e o acompanhamento das lesões ao longo do tratamento. Neste cenário, nota-se que nos últimos anos houve um crescente interesse da comunidade científica odontológica pelo desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial (IA) de aprendizado profundo, como as Redes Neurais Convolucionais (CNN), para auxiliar o clínico na detecção de lesões cariosas, desde os seus estágios mais iniciais (HWANG et al., 2019; LITJENS et al., 2017; MOHAMMAD-RAHIMI et al., 2022; SCHWENDICKE et al., 2019; SHAN et al., 2021). Os algoritmos de aprendizado profundo são treináveis e mostram-se capazes de detectar padrões e classificar alterações, de maneira autônoma, através da extração de informações de uma imagem, como a forma, a iluminação e a distribuição de cor (SCHMIDHUBER, 2015).

Diferentes imagens odontológicas podem ser utilizadas para a aprendizagem das CNNs, como as radiografias (KARIMIAN et al., 2019; LEE et al., 2018) e as imagens de transiluminação infravermelha (CASALEGNO et al.,

2019; SCWENDICKE et al., 2019), porém são as fotografias odontológicas aquelas que se aproximam mais do exame visual, considerado o melhor método diagnóstico de lesões cáries iniciais (BOTTENBERG et al., 2016). Entretanto, a avaliação do desempenho de CNNs treinadas a partir de fotografias odontológicas para detecção da cárie dentária ainda é incipiente na Odontologia (MOHAMMAD-RAHIMI et al., 2022), sendo que, ao nosso conhecimento, apenas oito estudos abordaram esse tema (ASKAR et al., 2021; DING et al., 2021; KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021; PARK et al., 2022; RASHID et al., 2022; ZANG et al., 2022; ZHANG et al., 2020) e somente dois avaliaram o desempenho das redes na detecção de lesões cáries iniciais (KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021). Apesar do interesse dos pesquisadores pela detecção automática da cárie dentária, nenhum dos estudos realizados avaliou a utilização do aprendizado profundo como método auxiliar no diagnóstico da doença, uma vez que não avaliaram o desempenho de examinadores com diferentes níveis de experiência clínica antes e após os resultados da rede. Neste sentido, a eficiência das CNN na Odontologia deve ser mais explorada, através de amostras de dados mais robustas e com o treinamento de uma rede capaz de detectar as lesões cáries iniciais, antes que a aprendizagem profunda possa representar um papel prático mais importante na elaboração de recomendações diagnósticas.

Após o exposto, o presente trabalho propõe explorar a utilização do aprendizado profundo na classificação de padrões de higiene e na detecção de lesões cáries iniciais tendo como base fotografias oclusais de dentes extraídos, bem como verificar o desempenho da rede como método de auxílio ao diagnóstico. Estes resultados permitirão aprimorar a utilização da IA na Odontologia possibilitando a sua aplicabilidade no auxílio ao diagnóstico de lesões iniciais cáries e aumentar a assertividade do clínico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de um algoritmo de aprendizado profundo na classificação e detecção de padrões de higidez e de lesões iniciais de cárie dentária, por meio do desenvolvimento e da utilização de uma base de imagens composta por fotografias oclusais de dentes extraídos. Buscando verificar a aplicabilidade do aprendizado profundo como método auxiliar no diagnóstico precoce de cárie dentária.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar uma base de imagens de fotografias oclusais com dentes extraídos classificados pelo índice do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS);
- Analisar o comportamento da técnica de transferência de aprendizagem em uma CNN para classificar blocos de imagens de fotografias oclusais de dentes extraídos;
- Analisar o desempenho da CNN aplicada ao contexto de detecção e classificação de fotografias dentárias;
- Treinar e testar a CNN para a detecção e classificação automática dos padrões dentários de higidez e de lesões iniciais de cárie dentária em fotografias oclusais de dentes extraídos;
- Avaliar o desempenho de uma CNN como método de auxílio ao diagnóstico na detecção de lesões cariosas iniciais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

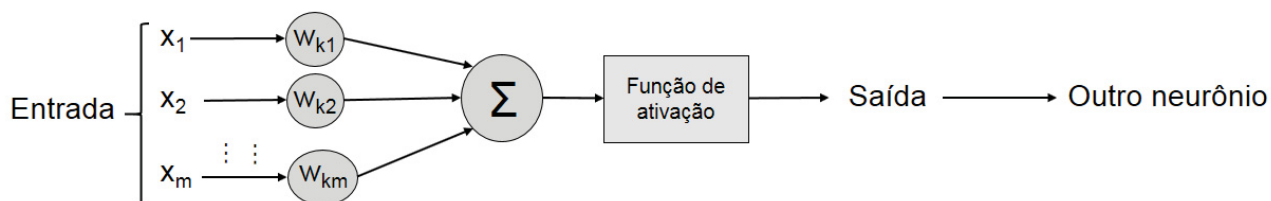
3.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A IA é um subcampo da ciência da computação que tem como objetivo desenvolver algoritmos que tornem computadores capazes de detectar padrões de informações em dados e, por fim, converter essas informações em ações inteligentes (HAUGELAND, 1985). Apesar de ser um assunto extremamente atual (LITJENS et al., 2017), a temática de IA não é recente. Durante a Segunda Guerra Mundial, em 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts apresentaram o conceito de redes neurais artificiais (RNA) (MCCULLOCH; PITTS, 1943) e, em 1957, Frank Rosenblatt lançou a primeira RNA treinada para reconhecimento de padrões, intitulada de “*Perceptron*” (ROSENBLATT, 1958).

Uma RNA é um algoritmo de IA, inspirado no cérebro dos seres humanos, composta por neurônios artificiais constituídos basicamente pelos seus pesos, *bias* e função de ativação² (ROSENBLATT, 1958). Os neurônios artificiais são conectados entre si e organizados em sequência de modo que extraem informações de um dado bruto de entrada, reconhecem padrões contidos nele e produzem, cada um, uma sequência de ativações de valor real (SCHMIDHUBER, 2015). Estes dados vindos das ativações dos neurônios são repassados, ponderados e transformados a outros neurônios de acordo com a função utilizada pela rede (FIGURA 1). Este processo se repete até que a RNA esteja treinada e promova um sinal de saída e um neurônio de saída seja ativado, emitindo uma resposta e funcionando como um classificador binário linear (SCHMIDHUBER, 2015). Esse método de treinamento da rede utiliza conhecimentos empíricos comumente representados por um conjunto de exemplos rotulados, ou seja, exemplos de dados de entrada com marcações, associados com a respectiva saída esperada (LECUN et al., 2015).

² Os pesos são utilizados para amplificar ou atenuar o valor passado de um neurônio para outro e os *bias* são ajustáveis e determinam a direção da classificação. A função de ativação determina se o neurônio está ativo ou não por meio de ligações ponderadas para um dado conjunto de características recebidas como entrada.

FIGURA 1 - MODELO DOS NEURÔNIOS UTILIZADOS NA RNA.



FONTE: O AUTOR (2021), ADAPTADO DE HAYKIN (2001).

Em 1959, o termo *machine learning*³(ML) foi utilizado pela primeira vez, descrevendo uma rede capaz de processar informações, planejar e aprender de maneira autônoma, ou seja, sem que a máquina fosse treinada diretamente para essa função. Contudo, só após o advento da Internet, em meados dos anos 90, o desenvolvimento da IA foi acelerado. Em 1997, houve o primeiro grande feito da IA, quando uma máquina, utilizando um algoritmo de RNA, derrotou um homem em um jogo de xadrez. O enxadrista Garry Kasparov, campeão mundial, foi derrotado pelo computador *Deep Blue*, da *International Business Machines Corporation* (IBM). A máquina foi capaz de analisar possibilidades, prever os movimentos do adversário e, de maneira autônoma, tomar as melhores decisões.

Nas décadas seguintes, a IA foi amplamente desenvolvida, em diversas áreas do conhecimento, a fim de aprimorar a performance das RNAs e tornar estes algoritmos cada vez mais aplicáveis no dia a dia das pessoas.

3.2 APRENDIZADO PROFUNDO

Em meados dos anos 2000, surge o conceito “*deep learning*” (DL), em português “aprendizado profundo”, para descrever o aprendizado dos algoritmos capazes de encontrar valores mais precisos na fase de treinamento da rede e, conseqüentemente, com melhor desempenho. O aprendizado profundo é um aprimoramento do próprio ML, uma vez que utilizam modelos capazes de extrair as características automaticamente e mais rapidamente (SCHMIDHUBER, 2015).

³ Aprendizado de máquina.

Diferente dos métodos de RNA tradicionais que pré-definiam descritores de características para representar dados de um problema, a aprendizagem profunda busca descobrir uma estrutura intrínseca em grandes quantidades de dados. Essa técnica utiliza algoritmos de aprendizagem multinível, em várias camadas de processamento, os quais transformam os dados de entrada brutos em um nível mais abstrato. Dessa forma, é possível representar os dados em múltiplos níveis de abstração, trazendo grandes avanços na resolução de problemas que a inteligência artificial não alcançou por muitos anos. (SCHMIDHUBER, 2015).

Neste cenário, as técnicas de DL vêm sendo utilizadas em diversas áreas do conhecimento, por meio da extração e classificação de muitas informações oriundas de dados, como textos, sons e imagens. No automobilismo, as RNAs vêm sendo desenvolvidas com a finalidade da criação de carros autônomos, a fim de diminuir acidentes provenientes das falhas humanas. Na robótica, houve a criação de robôs assistentes, como os aspiradores de pó inteligentes e as caixas de som com reconhecimento vocal, capazes de responder perguntas e ativar outros eletrodomésticos, integrando digitalmente uma residência e otimizando o dia a dia das pessoas. Na área do reconhecimento visual, várias ferramentas foram desenvolvidas para tomar decisões através da extração de características e da classificação de padrões em imagens (SHAPIRO; STOCKMAN, 2000). Exemplo desta tecnologia são as câmeras digitais que podem realizar reconhecimento de face e algoritmos mais complexos que podem identificar outras estruturas e alterações do corpo humano (PRINCE, 2012).

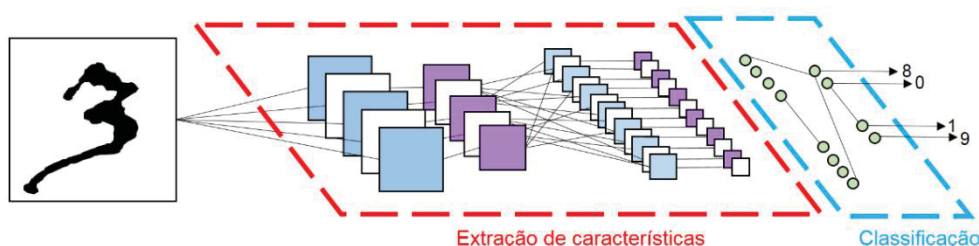
3.2.1 REDES NEURAIAS CONVOLUCIONAIS

Na área da saúde, o aprendizado profundo vem sendo introduzido no domínio da análise de imagens médicas e odontológicas, principalmente por meio do uso das Redes Neurais Convolucionais (CNN). A utilização das redes tem apresentado resultados promissores em várias aplicações, uma vez que, por meio do treinamento, as CNN podem detectar situações de normalidade e prever situações de anormalidade de estruturas do corpo com exatidão e, conseqüentemente, auxiliar no diagnóstico precoce de doenças (HWANG et al.,

2019; LITJENS et al., 2017). Deng e Yu, entre vários conceitos propostos, definem as CNN como uma classe de técnicas de autoaprendizado profundo que exploram múltiplas camadas de processamento de informação não-linear para extração e transformação, para análise de padrões e classificação (DENG; YU, 2013).

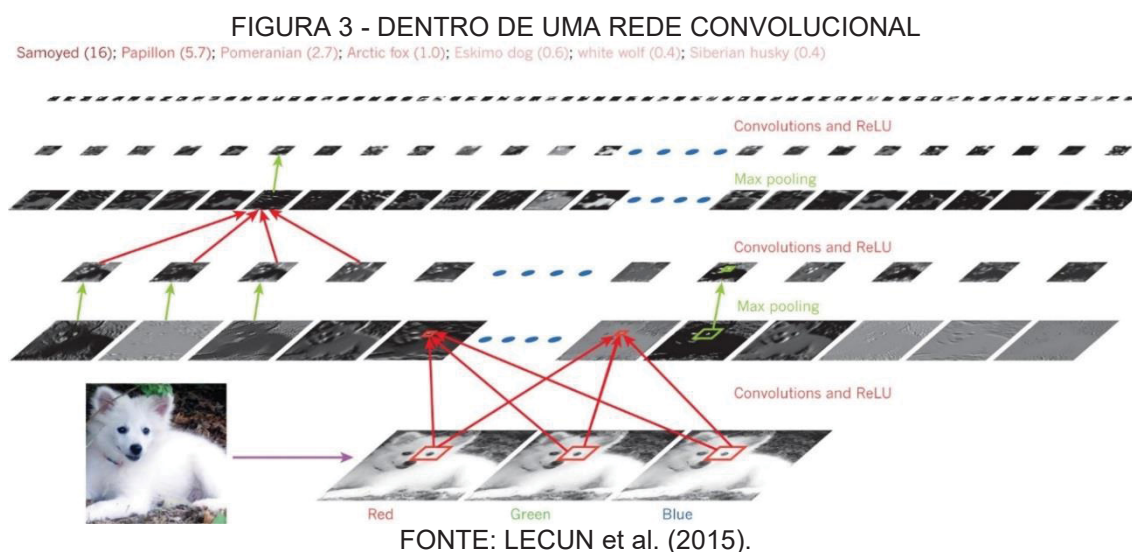
As CNNs são projetadas para processar dados que vêm na forma de múltiplas matrizes, e são tipicamente treinadas de ponta a ponta de maneira supervisionada. Na FIGURA 2, estão representados os dois grandes estágios de uma CNN: a extração de características e a classificação. A camada de extração obtém características (Cor: camadas de cores vermelho, verde e azul - RGB; Forma: bordas, profundidade, altura e largura) que são genéricas até um determinado ponto e que são úteis para uma tarefa destino. Além disso, nesta camada, é possível extrair características independentemente da orientação rotacional de formas bidimensionais (2-D), pela arquitetura das camadas convolucionais. Em um segundo estágio, as camadas de classificação utilizam as características locais extraídas e armazenadas em vetores para executar a classificação da entrada da rede após a aplicação de um algoritmo de aprendizagem de máquina. O objetivo do procedimento de aprendizado é encontrar conjuntos de matrizes que extraiam boas características discriminativas para serem usadas na classificação de imagens (LITJENS et al., 2017; ROSENBLATT, 1958; LECUN et al., 1998; LECUN et al., 2015). Dessa forma, a CNN é usada para extrair uma nova representação do conjunto de dados de destino, semelhante ao uso de um extrator de características para uma determinada entrada, o qual, obtém uma representação vetorial para cada amostra.

FIGURA 2 - ESTÁGIOS DE UMA REDE CONVOLUCIONAL SIMPLIFICADA.



FONTE: O AUTOR (2021) ADAPTADA DE PEEMEN et al. (2011).

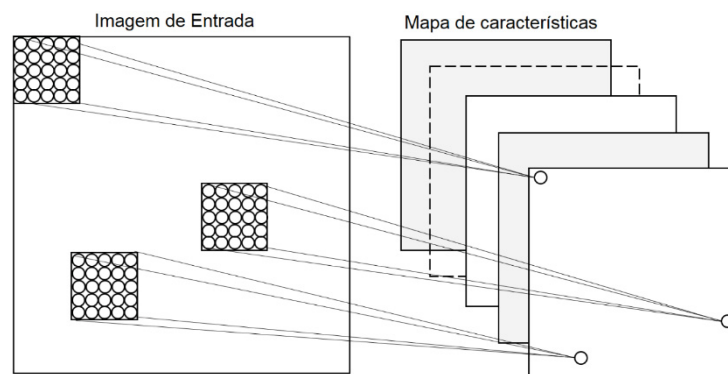
A maior força das CNN está nas camadas de neurônios convolucionais, explorando a ideia de que estruturas semelhantes ocorrem em diferentes locais de uma mesma imagem (LECUN et al., 2015). A arquitetura dentro de uma CNN típica aplicada a imagem de um cão é apresentada na FIGURA 3. Como visto, a CNN é estruturada em uma série de estágios e na ilustração podem ser observados os primeiros estágios compostos pelas camadas convolucionais e de agregação (LECUN et al., 2015). Nos próximos itens serão descritas as características das camadas de convoluções e agregação.



3.2.1.1 Convoluções

A CNN é composta pelas camadas de convoluções e o processo de convolução consiste em um conjunto de filtros treinados para reconhecer automaticamente as características da camada de entrada. O principal papel da convolução é extrair características preservando a relação espacial entre os *pixels* e aprendendo características da imagem. A convolução envolve a aplicação de um filtro, semelhante à uma matriz, que “desliza” sobre toda a imagem, gerando uma nova imagem como resultado. Os filtros definem uma pequena área, por exemplo, uma área de 3 x 3 ou 5 x 5 *pixels* e a aplicação desses filtros resulta em mapas de características, gerando as camadas de convoluções (LECUN et al., 2015) (FIGURA 4).

FIGURA 4 - CONVOLUÇÃO EM UMA IMAGEM DE ENTRADA COM UM FILTRO 5x5.



FONTE: O AUTOR (2021) ADAPTADO DE LEE et al. (2014)

Os pesos das camadas convolucionais são compartilhados entre os neurônios, levando os filtros a aprenderem padrões frequentes que ocorrem em qualquer parte da imagem. Dessa forma, as convoluções fazem com que a resposta de um neurônio individual aos estímulos dentro de seu campo receptivo possa ser aproximada matematicamente (LECUN et al., 2015). O neurônio *bias* aumenta os graus de liberdade permitindo uma melhor adaptação da rede neural ao conhecimento que está sendo aprendido. A função ReLU é uma das mais utilizadas e é uma operação aplicada a cada *pixel* que substitui todos os valores de *pixels* negativos do mapa de características por zero, determinando um limiar em zero. Essa operação tem por objetivo introduzir a não-linearidade na CNN pois a maioria dos problemas reais trata-se de dados não lineares (LITJENS et al., 2017).

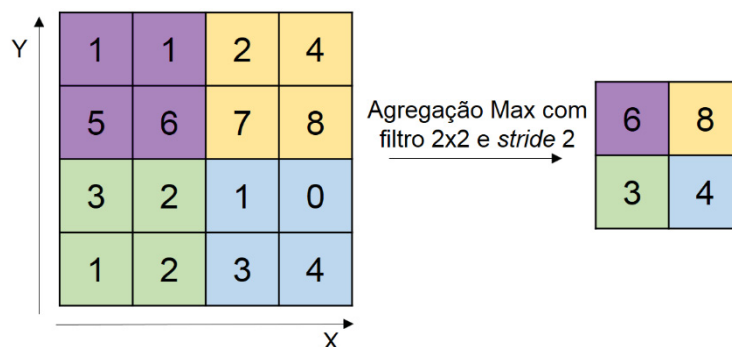
3.2.1.2 Agregação

As camadas de agregação adicionam robustez ao modelo, gerando um modelo invariante que aprende características da imagem independente da sua localização na imagem.

O processo de agregação diminui a dimensionalidade de um mapa de características mantendo as informações mais importantes. De forma resumida, este processo consiste em deslizar uma janela quadrada de determinada dimensão (*stride*) sobre a imagem, de forma que não ocorra sobreposição das

regiões (*pooling*). A FIGURA 5 mostra um exemplo de operação *Max Pooling* em um mapa de características.

FIGURA 5 - OPERAÇÃO MAX POOLING.



FONTE: O AUTOR (2021) ADAPTADA DE LI (2015).

3.2.1.3 VGG-19

A CNN VGG-19 foi proposta por Karen Simonyan e Andrew Zisserman em 2014 (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015) e pode ser empregada não só na classificação e tarefas de localização do ILSVRC⁴, mas também em conjuntos de dados de reconhecimento de imagens, mesmo utilizando *pipelines*⁵ relativamente simples (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). A entrada da rede recebe um tamanho fixo de imagem colorida (RGB) de 224x224, ou seja, formando uma matriz da forma (224,224,3). É feito um pré-processamento de subtração do valor RGB médio calculado no conjunto de treinamento de cada pixel (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). O processo inclui camadas de convolução com filtros de tamanhos 3x3 ou 1x1 e passo de convolução de 1 pixel, permitindo cobrir toda a região da imagem. A operação de *max pooling* é executada em uma janela de 2x2 pixels, com passo 2 (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). Esta operação visa reduzir a dimensionalidade das imagens mantendo informações relevantes. Ao final, a rede implementa três camadas totalmente conectadas, sendo as duas primeiras com tamanho de 4096 e a última de 1000, seguido da camada de *softmax* (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). A Figura 6 apresenta a configuração de

⁴ Acrônimo de “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge”, uma competição que avalia algoritmos para detecção de objetos e classificação de imagens em grande escala. (IMAGENET, [s.d.]).

⁵ Um *pipeline* de dados é uma série de etapas de processamento de dados.

diferentes modelos da VGG, na qual a coluna “D” representa a VGG-16, que possui 138 milhões de parâmetros, enquanto a coluna “E” representa a VGG-19, com 144 milhões de parâmetros. Nessa figura, as camadas ReLU não são mostradas por questão de brevidade (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015).

FIGURA 6 – ARQUITETURA DE VARIAÇÕES DO MODELO VGG

ConvNet Configuration					
A	A-LRN	B	C	D	E
11 weight layers	11 weight layers	13 weight layers	16 weight layers	16 weight layers	19 weight layers
input (224 × 224 RGB image)					
conv3-64	conv3-64 LRN	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64
maxpool					
conv3-128	conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128
maxpool					
conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256 conv1-256	conv3-256 conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256 conv3-256 conv3-256
maxpool					
conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv1-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512 conv3-512
maxpool					
conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv1-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512 conv3-512 conv3-512
maxpool					
FC-4096					
FC-4096					
FC-1000					
soft-max					

FONTE: SIMONYAN e ZISSERMAN (2015, p.3).

3.2.2 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Toda a aprendizagem da CNN é supervisionada, a fim de viabilizar a construção de um modelo de saídas esperadas e permitir a transferência de aprendizagem, possibilitando a generalização da atividade da rede. Ou seja, de modo que a rede consiga extrair e classificar informações a partir de qualquer dado de entrada sem que a CNN seja totalmente modificada para uma nova função (LU et al., 2015).

Para atingir o aprendizado, uma CNN precisa passar por um processo de treinamento com atribuição de valores em muitos dados, que é uma tentativa de encontrar o comportamento desejado da rede (SCHMIDHUBER, 2015). Esse

processo é feito nas camadas intermediárias da CNN por meio da atualização dos parâmetros de cada neurônio em função do erro calculado na camada de saída. Basicamente, após calcular o avanço na rede, a partir de um padrão apresentado à camada de entrada, a saída obtida é comparada com a saída desejada para um padrão particular. Assim, quando a saída não é correta, o erro é calculado e propagado da camada de saída até a camada de entrada, e as conexões das camadas internas se modificam conforme o erro é retro propagado, denominado de *backpropagation* (SCHMIDHUBER, 2015; LITJENS et al., 2017).

Após o treinamento, a CNN passa por um processo de teste, a fim de garantir que o desempenho da rede seja satisfatório. O desempenho do algoritmo está relacionado com sua capacidade de recuperar e classificar as informações corretamente, assim como desconsiderar as informações erradas. O desempenho do algoritmo de reconhecimento de padrões é representado pela matriz de confusão. A matriz de confusão apresenta as predições realizadas por um classificador, onde em sua diagonal principal estão armazenados os acertos do classificador, enquanto nas demais posições estão as confusões ocorridas (VISA et al., 2011). A TABELA 1 ilustra a matriz de confusão de duas classes.

TABELA 1 - MATRIZ DE CONFUSÃO GENÉRICA DE DUAS CLASSES.

	Preditivo Positivo	Preditivo Negativo
Valor verdadeiro	VP	FN
Valor Falso	FP	VN

FONTE: VISA et al. (2011).

Na matriz de confusão de n classes, é possível classificar os dados em quatro indicadores:

- a. Verdadeiro Positivo (VP): representa a proporção de casos positivos que foram corretamente identificados;
- b. Falso Negativo (FN): A taxa FN é a proporção de positivos os casos que foram incorretamente classificados como negativos;
- c. Falso Positivo (FP): A taxa de falsos positivos (FP) é a proporção de casos negativos que foram incorretamente classificados como positivo;

- d. Verdadeiro Negativo (VN): A taxa VN é definida como a proporção de casos negativos que foram classificadas corretamente.

A partir da matriz de confusão e seus indicadores, o modelo pode ser avaliado pela sua acurácia, precisão (especificidade), sensibilidade (*recall*) e F1-score.

Precisão é o cálculo dos acertos das predições de uma classe, no caso para as predições negativas, está relacionada a proporção de instâncias classificadas corretamente como negativas (VN) dentre o total de instâncias classificadas como negativas (VN+FP). A exemplo do diagnóstico de uma doença em uma população, a precisão refere-se à capacidade do teste em identificar os indivíduos que não têm a doença investigada quando, de fato, ela não está presente. Ou seja, do resultado ser negativo nos pacientes que realmente não têm a doença. apresentada pela Equação 1.

$$Precisão = \frac{VN}{VN+FP} \quad (1)$$

Recall, ou sensibilidade, relaciona a proporção de instâncias classificadas corretamente como positivas (VP), frente todas as instâncias realmente positivas (VP+FN). A exemplo do diagnóstico de uma doença em uma população, a sensibilidade refere-se à capacidade do teste em detectar a doença que está sendo investigada quando ela está de fato presente. Ou seja, do resultado ser positivo nos pacientes que realmente têm a doença. A Equação 2 define a relação da métrica *recall*.

$$Recall = \frac{VP}{VP+FN} \quad (2)$$

A acurácia consiste na habilidade que o modelo possui de prever corretamente os resultados classificados como negativos e positivos frente ao total de classes (VISA et al., 2011). Sendo assim, a acurácia refere-se à proporção de acertos de um teste diagnóstico. A métrica acurácia é definida pela Equação 3.

$$Acurácia = \frac{VP+VN}{VP+FP+VN+FN} \quad (3)$$

O F1-score é uma média harmônica entre a precisão (especificidade) e o *recall* (sensibilidade). A média harmônica, geralmente, é descrita como mais

adequada para proporções do que a média aritmética tradicional. A fórmula usada para F1-score é descrita na Equação 4.

$$F_1score = \frac{2*Precisão*Recall}{Precisão+Recall} \quad (4)$$

3.3 USO DO APRENDIZADO PROFUNDO NA ODONTOLOGIA

Uma revisão publicada por Hwang, mostrou que as aplicações da aprendizagem profunda na Odontologia são um tópico de crescente interesse pela comunidade científica (HWANG et al., 2019). Uma vez que, o desenvolvimento de algoritmos que aprendem através da interpretação automática de dados brutos, em particular as CNN, parecem uma metodologia promissora para a análise de imagens odontológicas e com grande potencial para auxílio ao diagnóstico dos clínicos (SCHWENDICKE et al., 2020).

Nos últimos anos, vários autores abordaram a utilização de CNNs para a detecção de alterações e doenças que acometem a saúde bucal dos indivíduos (HWANG et al., 2019; KHANAGAR et al., 2020; MOHAMMAD-RAHIMI et al., 2022). Estudos avaliaram o desempenho das redes frente a identificação de diversos desfechos odontológicos, como saúde gengival e periodontal, características da arcada dentária, presença de osteoporose e localização de pontos de anatômicos craniofaciais (KHANAGAR et al., 2020; HWANG et al., 2019), contudo a maioria estão relacionados a desfechos especificamente dentários, como os defeitos de desenvolvimento do esmalte, os problemas endodônticos e, principalmente, a cárie dentária (MOHAMMAD-RAHIMI et al., 2022; SCHWENDICKE et al., 2019).

3.4 A CÁRIE DENTÁRIA E A IMPORTÂNCIA DA SUA DETECÇÃO POR MÉTODOS AUTOMÁTIZADOS

A prevenção e o controle da cárie dentária são um desafio para a saúde pública por se tratar de uma doença multifatorial dinâmica, fortemente associada ao comportamento dos indivíduos, e de complexo diagnóstico, já que pode apresentar diferentes aspectos clínicos (LEE et al., 2014; PERES et al., 2019). Em crianças, a prevalência mundial da cárie dentária na dentição decídua é de

46,2% e de 53,8% na permanente (KAZEMINIA et al., 2020). No Brasil, o último levantamento epidemiológico em saúde bucal mostrou que 53,7% das crianças aos 5 anos de idade apresentaram pelo menos um dente decíduo com uma ou mais superfícies cariadas (cavitada ou não-cavitada) ou perdidas devido à cárie (BRASIL, 2012). Já, aos 12 anos, 56,5% das crianças brasileiras apresentam a mesma condição nos dentes permanentes (BRASIL, 2012). No que se refere aos adultos, de 15 a 19, 35 a 44 e 65 a 74 anos, os percentuais foram 86,1%, 91,1% e 91,2%, respectivamente (BRASIL, 2012).

A cárie dentária é proveniente de eventos metabólicos que ocorrem no biofilme dental e gera, como sequela, lesões desmineralizadas nos tecidos duros do dente (KIDD; FEJERSKOV, 2004) que se não controladas/tratadas, podem trazer prejuízos à saúde e à qualidade de vida dos indivíduos (GARCÍA-PÉREZ et al., 2017; LACERDA et al., 2008; MOTA-VELOSO et al., 2016; ONORIOBE et al., 2014; RAMOS-JORGE et al., 2014; SCARPELLI et al., 2013; SHEIHAM et al., 2001). Inicialmente, a cárie dentária se manifesta clinicamente por meio de manchas brancas que são consideradas lesões cariosas reversíveis, já que são passíveis de paralização/inativação por meio de procedimentos não-invasivos. Se ativas, apresentam-se opacas e rugosas e o tratamento acontece através da fluoroterapia, com a aplicação de vernizes e géis fluoretados na superfície do dente (PITTS et al., 2019). Quando não há o controle da doença nos sinais iniciais e, portanto, ocorre a progressão das lesões, surgem as descontinuidades do esmalte e as cavitações. Nestes estágios, as lesões tornam-se irreversíveis e procedimentos que restabeleçam a forma, a estética e a função do dente afetado se fazem necessários (PITTS et al., 2019; SLAYTON, 2015). Cavidades rasas, envolvendo apenas o esmalte ou a porção mais externa da dentina, podem ser controladas por tratamentos mais simples, como aplicação de selantes ou restaurações superficiais. Já as cavidades médias e profundas, com relação próxima ou direta com a polpa dentária, e as extensas, com grande perda de estrutura coronária, dependendo da sintomatologia, podem demandar restaurações mais complexas, próteses dentárias, terapias endodônticas ou, até mesmo, a exodontia do dente com cárie dentária (MACHIULSKIENE et al., 2020).

Neste cenário, nota-se a importância da correta detecção do estágio das lesões cariosas, sobretudo os mais iniciais, para que haja o controle precoce da

doença e o estabelecimento de planos de tratamento mais simples, assertivos e conservadores, através da realização de procedimentos minimamente invasivos (PETERS; MCLEAN, 2001). Os tratamentos de intervenção mínima salientam uma filosofia de controle de cárie dentária através de procedimentos de prevenção e da remoção parcial dos tecidos cariados, visando a máxima preservação da estrutura dental sadia (ERICSON et al., 2003; IMPARATO et al., 2010; LIMA, 2007). Tratamentos restauradores extensos podem ser agressivos, principalmente para crianças, uma vez que, apesar de todo o avanço tecnológico, atualmente nenhum material restaurador substitui em condições de igualdade a estrutura dental natural, e que todas as restaurações sofrem um envelhecimento no ambiente oral (PETERS; MCLEAN, 2001). Desta forma, ao realizar procedimentos mais conservadores, a partir da detecção da cárie dentária ainda nos primeiros sinais, evita-se tratamentos restauradores mais extensos, que acabariam demandando retratamentos restauradores cada vez mais complexos, custosos e dispendiosos e, conseqüentemente, culminariam na perda do dente (ERICSON et al., 2003).

Para auxiliar os clínicos na detecção das lesões cariosas iniciais durante o exame visual, considerado melhor método diagnóstico (MARINHO; PEREIRA, 1998), vários sistemas têm sido propostos. Os mais comumente utilizados são o índice de dentes cariados, perdidos e obturados (CPO-D e ceo-d para dentes permanentes e decíduos, respectivamente), preconizado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2013), e o índice do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS), proposto por ISMAIL (ISMAIL et al., 2007). O CPO-D/ceo-d avalia o número de dentes com histórico de cárie até o momento do exame, porém não considera as diferentes características clínicas das superfícies afetadas pela doença (WHO, 2013), ou seja, não traz todas as informações necessárias para a elaboração de um plano de tratamento em consonância com os estágios das lesões cariosas. O ICDAS, por outro lado, mensura as lesões em seus diferentes estágios abrangendo todos os seus aspectos clínicos (gravidade, coloração e extensão), proporcionando uma visão completa da real situação do dente. Ainda, a literatura demonstra que a realização do exame visual por meio do ICDAS implica em uma precisão diagnóstico equiparável aos resultados do exame histológico na detecção de cáries oclusais, mesmo quando o exame é realizado por meio de fotografias

dentárias (BOTTENBERG et al., 2016; CARVALHO et al., 2018). Contudo, apesar da eficácia comprovada do ICDAS, a sensibilidade e a especificidade desse sistema na detecção de cárie dentária podem variar de 70 a 85% na dentição decídua e de 80 a 90% na permanente dependendo de treinamento e calibração prévios do clínico (ISMAIL et al., 2007). Portanto, a reprodutibilidade do sistema e, conseqüentemente, a eficiência no diagnóstico da cárie dentária tornam-se, muitas vezes, subjetivas, pois dependem do aprendizado de cada examinador, que por sua vez é influenciado por diversos fatores inerentes da realidade de cada indivíduo (DINIZ et al., 2010; RODRIGUES et al., 2013).

Neste sentido, diversos exames complementares vêm sendo utilizados para auxiliar os clínicos na detecção de cárie dentária, como as radiografias, as tomografias, a transiluminação e o exame histológico (GOMEZ, 2015). Contudo esses métodos apresentam limitações, principalmente na detecção de lesões cariosas nos estágios mais iniciais (FOROS et al., 2021). Desta forma, nos últimos anos, nota-se uma demanda pela criação de métodos automatizados, como as CNN que, por meio do aprendizado profundo, possam auxiliar os clínicos na detecção rápida e assertiva da cárie dentária, logo nos primeiros sinais, sem acarretar custos ao plano de tratamento (MOHAMMAD-RAHIMI et al., 2022).

Ao nosso conhecimento, a detecção de lesões cariosas pelas redes de aprendizado profundo foi avaliada em 18 estudos através de diferentes tipos de dados, como as radiografias (BAYRAKDAR et al., 2022; CANTU et al., 2020; LEE et al., 2018; LEE et al., 2021; LI et al., 2021; LIAN et al., 2021; RASHID et al., 2022; SCHWENDICKE et al., 2022), as tomografias (KARIMIAN et al., 2019), imagens de transluminação infravermelha (CASALEGNO et al., 2019; SCHWENDICKE; SAMEK; KROIS, 2020) e fotografias (ASKAR et al., 2021; DING et al., 2021; KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021; PARK et al., 2022; RASHID et al., 2022; ZANG et al., 2022; ZHANG et al., 2020). As fotografias são o tipo dado mais interessante para a aprendizagem de redes para detecção e classificação de padrões de higidez e de lesões cariosas iniciais, uma vez que são as imagens mais semelhantes ao exame visual (BOTTENBERG et al., 2016).

Dos oito estudos que realizaram o treinamento e o teste da rede através de fotografias odontológicas (ASKAR et al., 2021; DING et al., 2021; KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021; PARK et al., 2022; RASHID et al., 2022; ZANG et al.,

2022; ZHANG et al., 2020), apenas dois avaliaram a aprendizagem da CNN na detecção de lesões cariosas iniciais (KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021). Kuhnisch et al., utilizaram 1.100 fotografias intrabucais de caninos, pré-molares e molares, previamente avaliados pelo ICDAS, para aprendizagem da MobileNetV2, obtendo 85,2% de acurácia na detecção de lesões cariosas iniciais (não-cavidades) (KÜHNISCH et al., 2021). Corroborando com o bom desempenho das CNN na detecção da cárie dentária nos estágios iniciais, Li et al. utilizaram 712 fotografias intrabucais e obtiveram valores de sensibilidade e de especificidade de 95,8% e 99%, respectivamente (LI et al., 2021). Quatro outros estudos que também avaliaram o desempenho das CNN na detecção de cárie dentária não consideraram os diferentes estágios das lesões cariosas, uma vez que não distinguiram lesões iniciais das lesões cavitadas (DING et al., 2021; RASHID et al., 2022; ZANG et al., 2022; ZHANG et al., 2020). Rashid et al. avaliaram o potencial da M-RCNN na detecção e delimitação espacial de lesões cariosas e como resultado a rede apresentou sensibilidade de 92,1% e especificidade de 89,1% (RASHID et al., 2022), enquanto Zang et al. verificaram o desempenho da DeepLabv3+ nas mesmas tarefas, obtendo acurácia de 0,99 (ZANG et al., 2022). Ding e Zhang et al. investigaram a atuação das redes na classificação de ausência ou presença de cárie dentária, desconsiderando sua gravidade, obtendo F1-score de 0,60-0,62 (DING et al., 2021) e sensibilidade e especificidade de 68,7% e 81,9% (ZHANG et al., 2020), respectivamente. A capacidade das CNNs na detecção de lesões envolvendo somente a dentina, foi avaliada por Park et al. As redes realizaram treinamento e teste em uma base de 2.348 fotografias intrabucais com dentes índices 4, 5 ou 6, segundo o ICDAS, e apresentaram acurácia de 0,81 (PARK et al., 2022). Por fim, o estudo realizado por Askar utilizou 434 fotografias intrabucais de 51 pacientes para avaliar o desempenho de uma CNN no diagnóstico diferencial entre manchas de defeitos de desenvolvimento de esmalte e manchas iniciais de cárie e, portanto, não investigou a capacidade da rede na detecção de cárie frente a possibilidade de higidez (ASKAR et al., 2021). Os autores concluíram que a SqueezeNet apresentou desempenho satisfatório na detecção de manchas brancas, principalmente as de DDE, com acurácia de 0,81 (TABELA 2).

Todos os estudos apontaram o uso das CNN na detecção de cárie dentária como promissor e como uma importante ferramenta de auxílio ao diagnóstico

dos clínicos (ASKAR et al., 2021; DING et al., 2021; KÜHNISCH et al., 2021; LI et al., 2021; PARK et al., 2022; RASHID et al., 2022; ZANG et al., 2022; ZHANG et al., 2020). Contudo, nenhum deles avaliou a utilização de CNN como método auxiliar no diagnóstico de cárie dentária, uma vez que não abordaram o desempenho de cirurgiões-dentistas ou graduandos de Odontologia antes e depois dos resultados da rede. Nesse sentido, a utilização de algoritmos de aprendizado profundo para a detecção de lesões cariosas iniciais pode reduzir as subjetividades do diagnóstico entre diferentes examinadores, tornando as decisões clínicas mais rápidas e assertivas.

TABELA 2 - USO DAS REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE DENTÁRIA EM FOTOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS (2023).
(continua)

Autor	Tipo de fotografia	Método de obtenção das fotos	Tamanho amostral (n imagens)	Deteção da cárie	Critério diagnóstico da cárie	CNN	Acurácia	Sensibilidade	Especificidade	Outras métricas
ZHANG et al., 2020	Intra-buciais	Câmara digital e smartphones	3.932	Ausência ou presença de cárie	ICDAS (Ismail, 2007)	VGG-16	-	68,7%	81,9%	AUC:85,65%
ASKAR et al., 2021	Intra-buciais de incisivos e caninos	Câmara digital profissional	434 (2.721 cortes de imagens)	Lesões fluoróticas ou não-fluoróticas (manchas brancas de cárie ou opacidades demarcadas)	-	SqueezeNet	0,81	0,64	0,85	PPV:0,77 NPV:0,80
DING et al., 2021	Intra-buciais de arcadas	Smartphones	640 (7.980 imagens)	Cárie primária (CP) ou secundária (CS)	-	YoloV3	-	CP=49,6% CS=52,4%	CP=76,9% CS=91,7%	F1-Score: 0,68 CP=0,60 CS=0,62
KÜHNISCH et al., 2021	Intra-buciais de canino, pré-molares e molares	Câmara digital profissional	1.100 (2.417 imagens)	Ausência de cárie e presença de cárie (LI ou LC).	CPO-D (OMS, 2013) e ICDAS (Pitts, 2013)	MobileNet V2	LI=85,2% LC=79,5%	89,6% (LI=85,2% LC=79,5%)	94,3%	PPV: LI=100% LC=100%
LI et al., 2021	Intra-buciais	Câmara digital	712 (9.014 cortes de imagens)	Ausência de cárie e presença de cárie (LI ou LC)	-	-	-	LI=95,8% LC=96,0%	LI=99,0% LC=97,0%	-
PARK et al., 2022	Intra-buciais	Câmara intraoral	2.348	Ausência ou presença de cárie (apenas índice ICDAS 4, 5 e 6)	ICDAS (Ismail, 2007)	U-Net, ResNet-18 e Faster R-CNN	0,81	0,74	0,89	AUC:0,813

TABELA 2 - USO DAS REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE DENTÁRIA EM FOTOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS (2023).
(conclusão)

Autor	Tipo de fotografia	Método de obtenção das fotos	Tamanho amostral (n imagens)	Deteção da cárie	Critério diagnóstico da cárie	CNN	Acurácia	Sensibilidade	Especifi- cidade	Outras métricas
RASHID, et al., 2022	Intrabucais	Câmara digital profissional (obtidas no Zenodo repository)	90	Presença de cárie e delimitação espacial	-	M-RCNN	-	92,1%	89,1%	-
ZANG et al., 2022	Intrabucais de pré- molares e molares cariados	Câmara de endoscopia	494	Presença de cárie e delimitação espacial	-	DeepLabv ₃₊	0,993	0,661	0,997	Coefficiente dise: 0,685 IoU:0,529

AUC= Área abaixo a curva ROC; CNN=Rede Neural Convolutacional; NPV =negative predictive value; PPV= Positive predictive value.
CP= Cárie primária; CS= cárie secundária; LI= lesão cariiosa inicial; LC= lesão cariiosa cavitada.

4 METODOLOGIA

4.1 ASPECTOS ÉTICOS

Previamente à execução, este projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná (UFPR) (CAAE 25001219.5.0000.0102) (ANEXO 1 e ANEXO 2). Além disso, este estudo segue as diretrizes do *Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy Studies*⁶ (STARD) (ANEXO 3) e o *Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging*⁷ (CLAIM) (ANEXO 4).

4.2 AMOSTRA

Foram avaliados todos os dentes posteriores extraídos, decíduos e permanentes, pertencentes aos Bancos de Dentes Humanos (BDH) vinculados ao Curso de Odontologia da UFPR (ANEXO 5) e ao Setor de Ciências Biológicas da Saúde da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) (ANEXO 6). Foram excluídos aqueles que apresentavam manchamentos extrínsecos ou intrínsecos não-cariosos, ou tinham procedimentos restauradores, como selantes, restaurações e próteses, e endodônticos, como abertura coronária e material obturador aparente. Dentes com defeitos de desenvolvimento de esmalte foram incluídos, desde que não houvesse perda de estrutura dentária suficiente para prejudicar o exame clínico da cárie. Foram selecionados para o estudo 2.481 dentes (BDH-UFPR: 2.311; BDH-UEPG: 170), sendo 2.459 permanentes e 22 decíduos, com diferentes estágios de lesões de cárie dentária.

Após serem doados aos BDH, todos os dentes extraídos avaliados neste estudo foram submetidos a etapas de desinfecção, seleção, esterilização, limpeza mecânica com auxílio de água, escova e sabão e estocagem. No BDH-UFPR os dentes foram estocados e disponibilizados à seco, enquanto no BDH-UEPG em água destilada. No entanto, para a avaliação das lesões cariosas, todos os dentes encontravam-se na mesma condição, ou seja, completamente secos.

⁶ Padrões para relatórios de estudos de precisão de diagnóstico.

⁷ Lista de verificação para inteligência artificial para imagens médicas.

4.3 EXAME CLÍNICO

Todos os dentes extraídos foram identificados por um número (ID) e fixados em uma base de cera para a avaliação das superfícies oclusais, garantindo que os dentes permaneçam utilizáveis após a realização do presente estudo (FIGURA 7). O exame clínico foi realizado sob luz artificial, com o auxílio de lanterna de LED, acoplada à cabeça do examinador, e sonda exploradora de ponta romba, conforme preconizado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2013). Os dentes extraídos fornecidos em meio aquoso pelo BDH-UEPG foram secos com gaze, antes serem examinados.

FIGURA 7 – IDENTIFICAÇÃO E FIXAÇÃO DE UM DENTE EXTRAÍDO



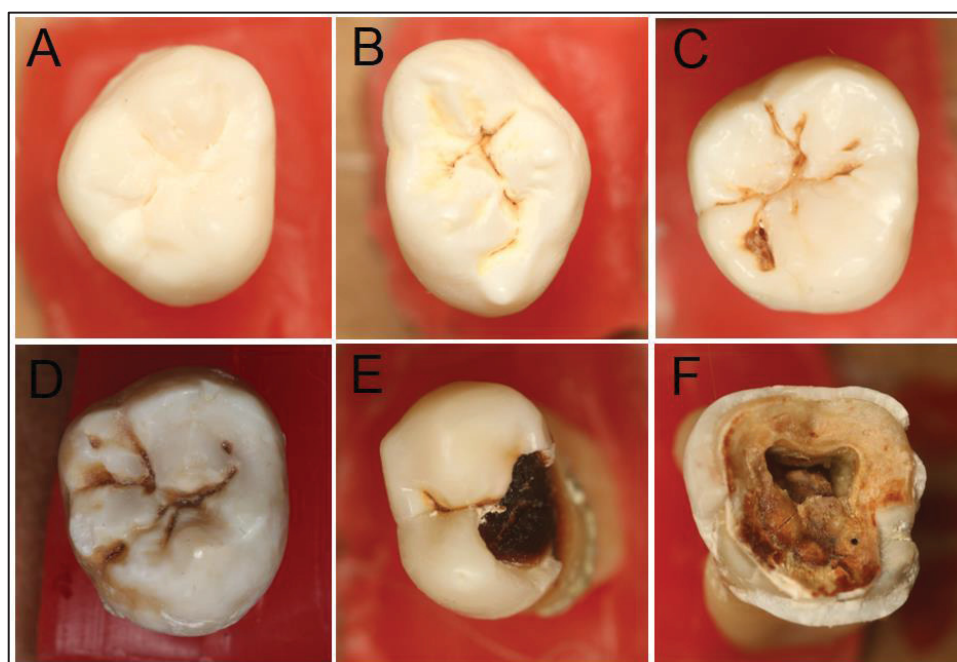
FONTE: O AUTOR (2021).

Para a detecção das lesões de cárie dentária, foi utilizado o segundo código do índice do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS) (ISMAIL et al., 2007) que registra a higidez ou a severidade da cárie de uma superfície dentária, variando de 0 a 6: 0 - Nenhuma ou sutil alteração na translucidez do esmalte após secagem de 5s; 1 - Opacidade dificilmente visível na superfície úmida, mas notável após secagem; 2 - Opacidade visível sem secagem; 3 - Cavitação localizada em esmalte opaco ou pigmentado, sem dentina visível; 4 - Sombreamento da dentina subjacente, com ou sem

rompimento de esmalte; 5 - Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente; 6 - Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente, envolvendo mais da metade da superfície (ANEXO 7). Neste estudo, os códigos "1" foram agrupados aos dentes de código "2" devido às limitações da detecção em superfícies úmidas em dentes extraídos. A classificação dos diferentes estágios dos dentes extraídos está representada na FIGURA 8.

O exame clínico foi realizado por três examinadores calibrados, sendo a classificação final do índice averiguada por um quarto examinador (examinador de referência). Os dados foram tabulados no software SPSS (versão 20.0 IBM, Brasil).

FIGURA 8 – ASPECTOS CLÍNICOS DE SUPERFÍCIES DENTÁRIAS CLASSIFICADAS PELO SEGUNDO CÓDIGO DO ÍNDICE ICDAS: A – ICDAS=0; B – ICDAS=1/2; C – ICDAS=3; D – ICDAS=4; E – ICDAS=5; F – ICDAS=6.



FONTE: O AUTOR (2022).

4.4 CALIBRAÇÃO DOS EXAMINADORES

Previamente à coleta, três examinadores foram calibrados, por meio de etapas teóricas e práticas. A calibração foi composta por três etapas que incluíram atividades teóricas, exercício de calibração e análise estatística. Todo

o processo foi guiado por um examinador de referência (doutor em Odontopediatria e experiente em estudos epidemiológicos), tendo duração de duas semanas.

a) Primeira etapa: teórica, com oito horas de duração. Consistiu na apresentação dos critérios dos índices ICDAS (ISMAIL et al., 2007);

b) Segunda etapa: calibração propriamente dita. Nesta etapa, foram examinadas 45 fotografias odontológicas, por cada examinador e pelo examinador padrão, a fim de avaliar a reprodutibilidade intra e interexaminadores;

c) terceira etapa: Análise dos resultados. Nesta etapa, todos os examinadores obtiveram valores Kappa ponderado de concordância intraexaminadores (>95% e $K \geq 0,8892$) e interexaminadores (>95% e $K \geq 0,8133$), consideradas concordâncias ótimas (LANDIS; KOCH, 1977).

4.5 FOTOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS

Após o exame clínico, uma cirurgiã-dentista treinada realizou fotografias odontológicas das faces oclusais dos dentes extraídos para a construção da base de dados para o treinamento e o teste da CNN. As fotos foram obtidas pela câmera profissional Canon EOS Rebel T61®, com flash Canon Macro Ring Lite MR-14ex® e lente macro Ultrasonic®. A padronização das imagens foi realizada por meio da configuração da câmera em: velocidade do obturador de 1/100, abertura do diafragma em f22 e ISO em 100. Para compensar a diferença amostral segundo os estágios do ICDAS e para simular possíveis variações de visualização clínica do dente, a fotografa realizou múltiplas tomadas de um mesmo dente, variando a angulação e distância focal. As fotografias foram disponibilizadas em alta resolução no formato JPG (Joint *Photographics Experts Group*) com tamanho de 6000x4000 *pixels* e com uma resolução vertical/horizontal de 72 dpi.

Foram confeccionadas 5.560 fotografias oclusais de dentes extraídos para compor a base de imagens. De acordo com o critério de avaliação de cárie (ICDAS), foram obtidas 701 fotos do índice “0” (ICDAS-0); 1.147 fotos dos índices “1”/“2” (ICDAS-2); 1.616 fotos do índice “3” (ICDAS-3); 319 fotos do

índice “4” (ICDAS-4); 1.012 fotos do índice “5” (ICDAS-5) e 765 fotos do índice “6” (ICDAS-6) (Tabela 3).

4.6 BASE DE IMAGENS E PRÉ-PROCESSAMENTO

As fotografias oclusais de dentes extraídos (imagens originais) passaram por processos prévios, antes de compor a base de imagens que foi utilizada para aprendizagem da CNN. Primeiramente, as fotografias foram rotuladas, por três avaliadores treinados, no software Label Image Regions da biblioteca Scikit-image, desenvolvido em Python, e salvas em formato Pascal/VOC (YU, 2013) (FIGURA 9, 10, 11, 12, 13 e 14). Após a rotulação, os dentes foram recortados das imagens e os blocos de imagens resultantes compuseram a base de imagens inicial (TABELA 3), incluindo apenas a superfície oclusal do dente extraído, removendo o fundo das imagens originais e possíveis ruídos⁸ que poderiam dificultar o aprendizado da rede (FIGURA 15).

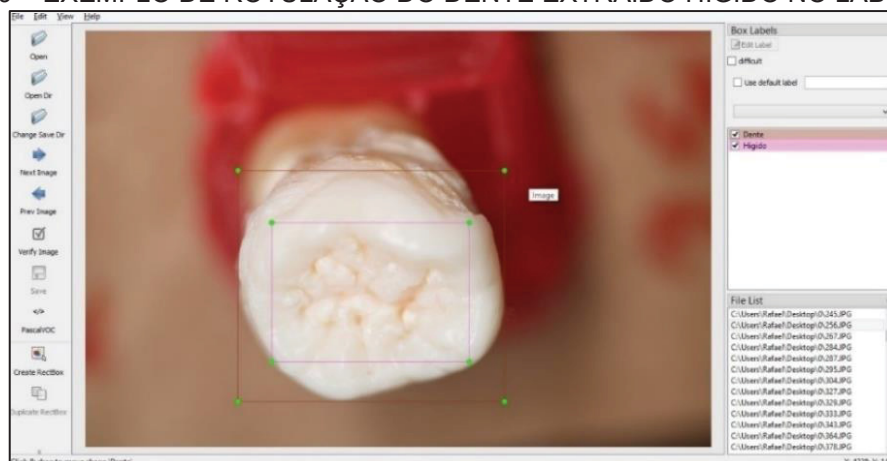
TABELA 3 - NÚMERO DE IMAGENS ORIGINAIS (FOTOGRAFIAIS OCLUSAIS DE DENTES EXTRAÍDOS) NA BASE INICIAL E NÚMERO DE IMAGENS NA BASE FINAL, APÓS O PRÉ-PROCESSAMENTO.

Índice ICDAS	Base de imagens inicial (n, %)		Base de imagens final ^a (n, %)	
0	701	12,61	4.713	18,20
2	1.147	20,63	4.176	16,13
3	1.616	29,06	4.399	16,99
4	319	5,74	3.996	15,44
5	1.012	18,20	4.306	16,63
6	765	13,76	4.299	16,61
Total de imagens	5.560	100,00	25.889	100,00

a- Após a realização de *data augmentation*.

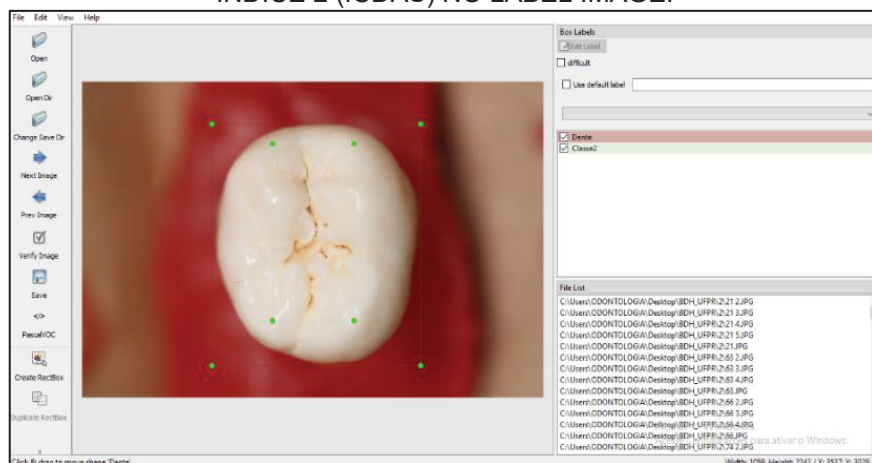
⁸ Pode ser compreendido como uma distorção visual em uma imagem, identificável como um efeito de granulação ou descoloração.

FIGURA 9 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO HÍGIDO NO LABEL IMAGE.



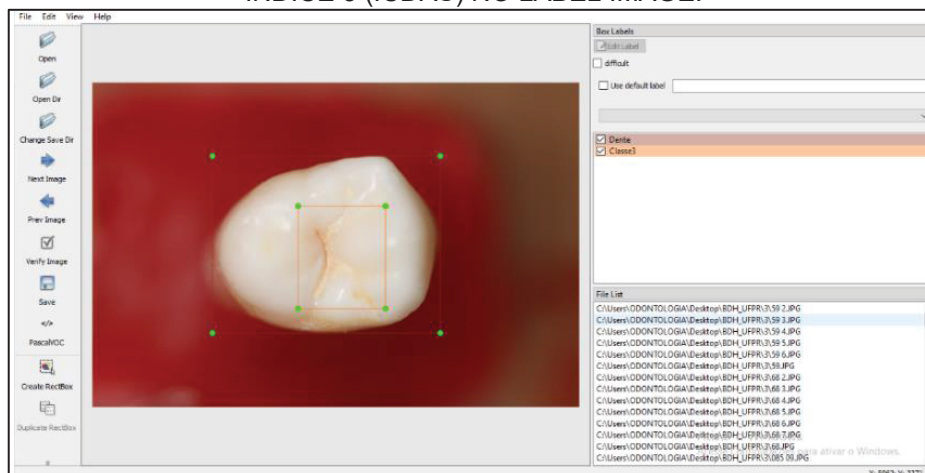
FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 10 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSA ÍNDICE 2 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.



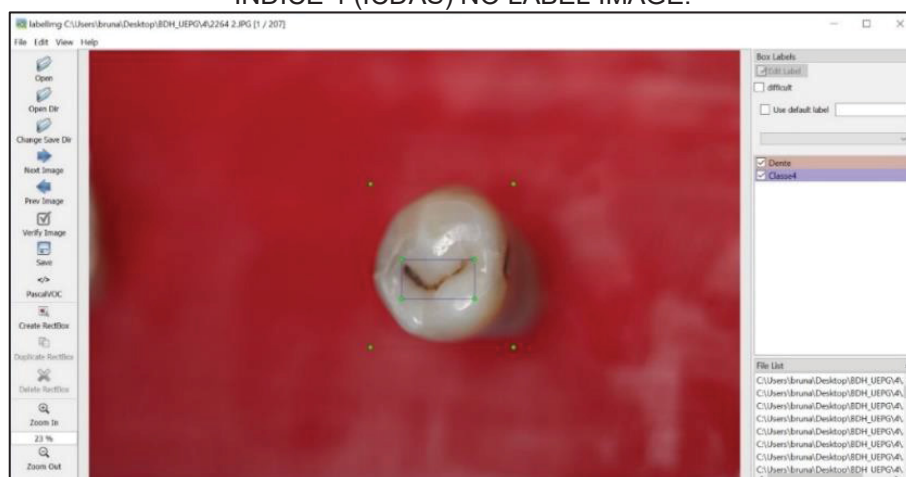
FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 11 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSA ÍNDICE 3 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.



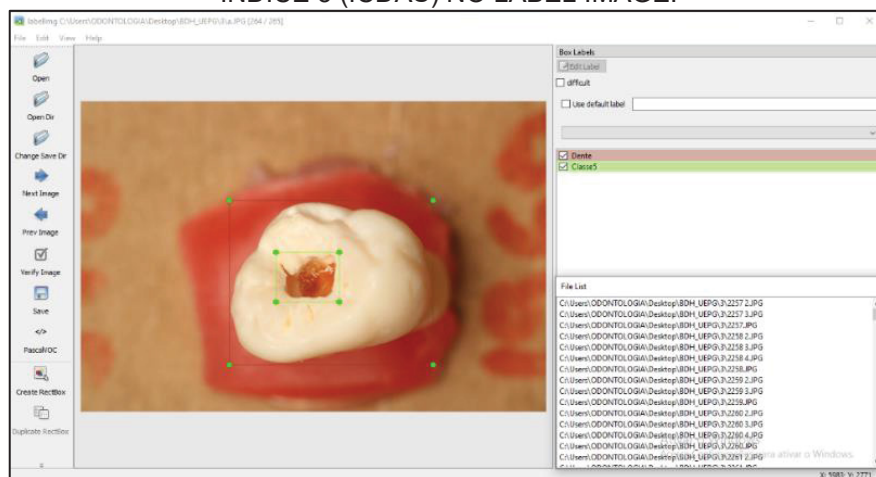
FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 12 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSA ÍNDICE 4 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.



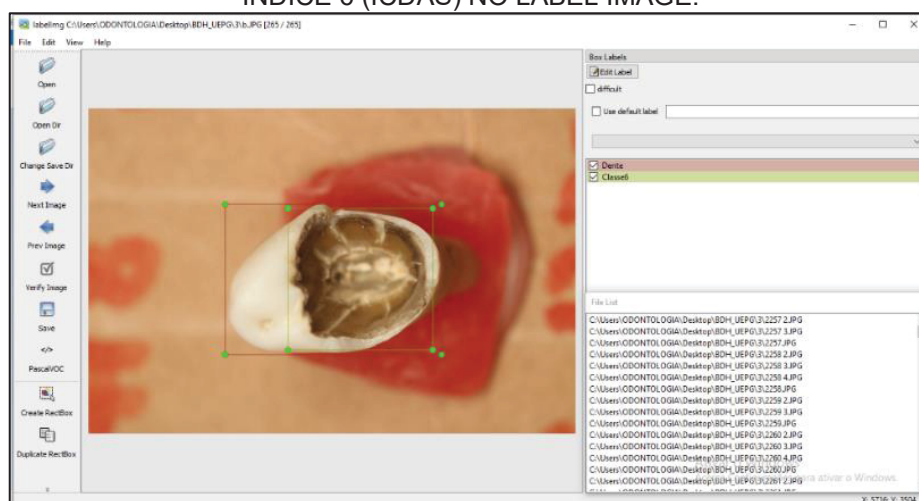
FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 13 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSA ÍNDICE 5 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.



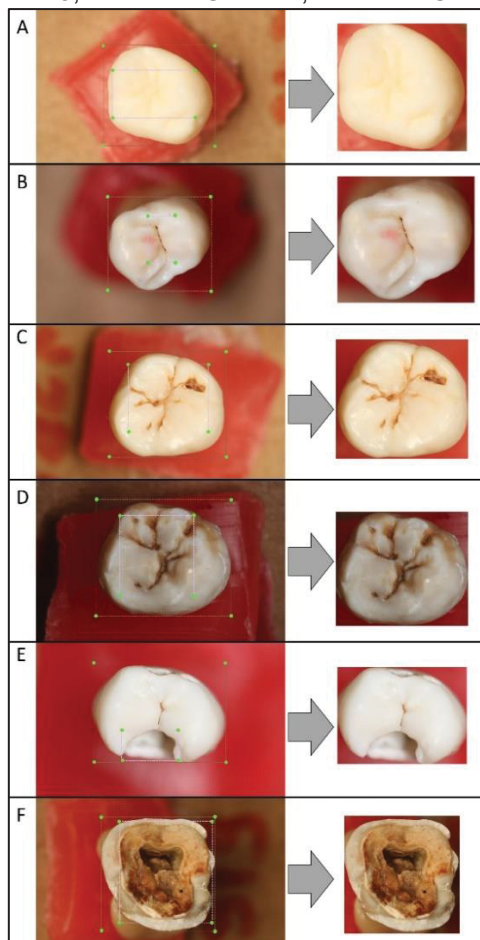
FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 14 – EXEMPLO DE ROTULAÇÃO DO DENTE EXTRAÍDO COM LESÃO CARIOSA ÍNDICE 6 (ICDAS) NO LABEL IMAGE.



FONTE: O AUTOR (2021).

FIGURA 15 – EXEMPLO DO PROCESSO DE RECORTE DAS IMAGENS DE DENTES EXTRAÍDOS NA BASE DE DADOS PORTELLA et al. (2023): A: dente ICDAS-0; B: dente ICDAS-2; C: dente ICDAS-3; D: dente ICDAS-4; E: dente ICDAS-5; F: dente ICDAS-6.

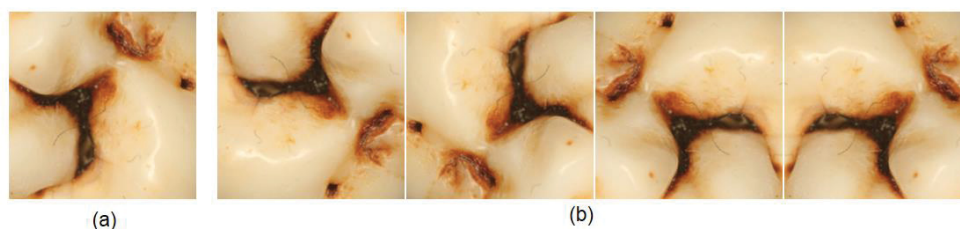


Em um segundo momento, as imagens foram divididas em base de treinamento (treinamento propriamente dito e validação) e base de testes para permitir que o algoritmo alcance boa capacidade de generalização, evitando, assim, o *overfitting*⁹. Além disso, as imagens de treinamento passaram também por um processo de *data augmentation*¹⁰. Esta técnica, exemplificada na FIGURA 16, aplica transformações e gera amostras aleatórias a partir das imagens originais, gerando dados sintéticos, aumentando a quantidade de dados e permitindo o balanceamento da base para a melhor aprendizagem da CNN (KRIZHEVSKY et al., 2012).

⁹ Sobre ajuste. Acontece quando o algoritmo se mostra adequado apenas para os dados de treino e incapaz para dados desconhecidos do classificador.

¹⁰ O *data augmentation*, na análise de dados, corresponde às técnicas usadas para aumentar a quantidade de dados adicionando cópias ligeiramente modificadas de dados já existentes ou dados sintéticos recém-criados a partir de dados existentes.

FIGURA 16 – EXEMPLO DA CRIAÇÃO DE DADOS SINTÉTICOS NA BASE DE DADOS PORTELLA et al. (2023): (a) AMOSTRA ORIGINAL; (b) AMOSTRAS SINTÉTICAS.



FONTE: O AUTOR (2021).

Ao final, a base de imagens foi composta por 4.713 imagens de dentes ICDAS-0; 4.176 ICDAS-2; 4.399 ICDAS-3; 3.996 ICDAS-4; 4.306 ICDAS-5 e 4.299 ICDAS-6 (TABELA 3).

4.7 TREINAMENTO E TESTE DA VGG-19

Para aprendizagem da CNN VGG-19, foram selecionadas as 8.889 imagens dos dentes índices ICDAS-0 e ICDAS-2, divididas nas bases de treinamento e de testes da rede, buscando o bom desempenho do algoritmo na detecção de padrões de higidez e lesões iniciais de cárie dentária (TABELA 4).

TABELA 4 - NÚMERO DE IMAGENS UTILIZADAS PARA A APRENDIZAGEM PROFUNDA DA VGG-19 NAS BASES DE TREINAMENTO E DE TESTES.

Índice ICDAS	Base de treinamento			Base de testes	Total bases
	Treinamento	Validação	Total		
0	4.543	100	4.643	70	4.713
2	4.006	100	4.106	70	4.176
Total	8.549	200	8.749	140	8.889

A base de treinamento foi composta por 8.749 imagens da superfície oclusal dos dentes extraídos. O treinamento ocorreu com uma parte da base (8.549 imagens) e a cada interação a VGG-19 foi testada na base de validação (200 imagens).

Após o término do treinamento da VGG-19, o desempenho da rede foi testado na base de testes. Esta base foi composta por 140 imagens de dentes índices “0” (n=70) e “2” (n=70), desconhecidas do classificador treinado. Os

resultados obtidos pela VGG-19 nesta etapa foram comparados ao examinador de referência para obtenção das métricas de desempenho de aprendizagem da rede (acurácia, sensibilidade, especificidade e F1-score).

Ainda na etapa de teste, para averiguar a aplicabilidade clínica da CNN, foi investigado o potencial da rede no auxílio ao diagnóstico de lesões iniciais de cárie dentária. Na primeira fase (Fase I), as imagens da base de testes foram avaliadas por três examinadores: um graduando de Odontologia, um cirurgião-dentista recém-formado e um especialista em Odontopediatria. Cada participante avaliou as fotografias oclusais de maneira individual e cega atribuindo índices ICDAS “0” ou “2” a cada dente avaliado, registrando os códigos em uma tabela online na plataforma *Google Sheets*. Em um segundo momento (Fase II), foram fornecidos aos examinadores os resultados do classificador treinado para a reavaliação das fotografias com auxílio dos resultados da VGG-19. Nesta segunda fase, cada examinador pôde decidir se manteria ou alteraria os índices ICDAS atribuídos em cada um dos dentes durante a fase I. As métricas de desempenho dos participantes foram avaliadas nas fases I e II e a diferença de acertos entre as fases foi analisada estatisticamente, através do teste Mc Nemar, com o auxílio do programa STATA versão 12.0 (StataCorp LP, College Station, Estados Unidos). O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5%.

5 CAPÍTULO (ARTIGO)*: DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LESÕES INICIAIS DE CÁRIE DENTÁRIA E AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO

Portella PD, de Oliveira LF, Ferreira MFC, Dias BC, de Souza JF, Assunção LRDS

*Artigo formatado segundo as normas da revista Journal of Dentistry.

RESUMO

Objetivo: Investigar o desempenho de uma rede neural convolucional (CNN) na detecção e classificação de padrões de higidez e de lesões cariosas iniciais em superfícies oclusais de dentes extraídos, bem como a aplicabilidade desse algoritmo de aprendizado profundo no auxílio ao diagnóstico da cárie dentária.

Métodos: Foram selecionados 2.481 dentes posteriores (2.459 permanentes e 22 decíduos) com diferentes estágios de lesões de cárie, segundo o Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS). Após a avaliação clínica e identificação, as superfícies oclusais ICDAS 0 e 2 foram fotografadas usando uma câmera digital profissional. Para verificar o desempenho da VGG-19 no auxílio ao diagnóstico de lesões de cárie, três examinadores (um aluno de graduação – AG, um cirurgião-dentista recém-graduado - CG e um especialista em odontopediatria - EO) avaliaram as imagens da base de testes (Fase I). Na Fase II, os examinadores reavaliaram as mesmas imagens, tendo os resultados do algoritmo disponíveis. **Resultados:** 8.749 imagens compuseram a base de treinamento e 140 imagens a base de testes. A VGG-19 alcançou acurácia de 0,879, sensibilidade de 0,827, precisão de 0,949 e F1-score de 0,887. Na fase I, a acurácia de AG, CG e EO foi de 0,543, 0,771 e 0,807, enquanto na fase II foi de 0,679, 0,886 e 0,857, respectivamente. O número acertos foi significativamente maior na Fase II para todos os examinadores (teste de McNemar; $P < 0,05$). **Conclusões:** A VGG-19 demonstrou desempenho satisfatório na detecção e na classificação de lesões iniciais de cárie dentária, bem como no auxílio ao diagnóstico.

Significância clínica: A detecção automática de lesões cariosas iniciais por meio de algoritmos de aprendizado profundo é um importante método de auxílio ao diagnóstico precoce da doença, uma vez que reduz as subjetividades do diagnóstico entre diferentes examinadores, tornando as decisões clínicas mais rápidas e assertivas.

Palavras-chave: Aprendizado Profundo. Cárie Dentária. Rede Neurais. Tomada de Decisão Clínica.

INTRODUÇÃO

A cárie dentária é a segunda doença que mais acomete a saúde dos seres humanos [1] e sua etiologia é multifatorial e dinâmica [2]. O aparecimento das lesões cariosas é resultado de um desequilíbrio entre os processos de des e remineralização dos tecidos duros do dente, determinado pelo consumo frequente de alimentos contendo açúcar, associado à uma higiene bucal deficiente [3]. Por não regredir espontaneamente e nem ser passível de cura por intervenções farmacológicas de curto prazo, as lesões cariosas podem trazer efeitos negativos na qualidade de vida dos indivíduos [4-10], sendo o principal motivo da dor de origem [5,11,12].

Clinicamente, o diagnóstico da cárie dentária pode representar um desafio para os clínicos, uma vez que suas lesões apresentam diferentes aspectos de acordo com seu estágio de desenvolvimento, e, portanto, demandam diferentes tipos de intervenções [13]. As lesões iniciais, chamadas de manchas brancas, são consideradas lesões reversíveis, pois são passíveis de inativação através de procedimentos não-invasivos, por meio de fluoroterapia associada ao controle da ingestão de açúcar na dieta [14]. As cavidades, por outro lado, por apresentarem perda de estrutura dentária, demandam procedimentos operatórios de média à alta complexidade, dependendo da profundidade e da gravidade da lesão [15].

Neste cenário, é imprescindível o reconhecimento e a detecção dos diferentes estágios das lesões cariosas, sobretudo os mais iniciais, para que haja o controle precoce da doença e o estabelecimento de planos de tratamento com procedimentos minimamente invasivos [16], proporcionando a máxima preservação de estruturas dentais sadias [3, 17]. Ainda, a detecção de lesões cariosas em seus estágios iniciais proporciona tratamentos mais conservadores e menos dispendiosos, evitando-se, assim, o ciclo de tratamentos repetitivos e complexos que podem resultar na perda do dente [17].

O principal método diagnóstico utilizado para a detecção de lesões cariosas é o exame visual, realizado em consultório sob luz artificial e com auxílio de sonda exploradora de ponta romba [13]. Além de ser um método confiável, não-invasivo, de custo acessível e de rápida execução, este exame permite a detecção de estágios iniciais de lesões cariosas [18]. Ademais, diferente de

outros métodos de diagnóstico, o exame visual permite a avaliação da atividade, profundidade e do potencial de retenção das lesões cariosas [15]. Para preservar a sensibilidade e o alto grau de especificidade desse método, alguns sistemas de detecção têm sido desenvolvidos, a fim de diminuir a influência da experiência do clínico durante a sua execução [19,20]. O índice do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS), proposto por Ismail [21] vem sendo muito utilizado, pois possibilita a mensuração das superfícies dentárias híginas e cariadas, desde as lesões em seus estágios iniciais, já que abrange diversos aspectos clínicos e proporciona uma visão completa da real situação do dente. Ademais, a literatura demonstra que o ICDAS possui uma precisão diagnóstica equiparável ao exame histológico para a detecção de lesões cariosas na superfície [22, 23]. No entanto, a acurácia do ICDAS depende diretamente da expertise do clínico e da realização de treinamentos prévios [21].

Neste sentido, diversos exames complementares são utilizados para auxiliar os clínicos na detecção de cárie dentária, como as radiografias, as tomografias, a transiluminação e o exame histológico [22]. Contudo esses métodos apresentam importantes limitações inerentes à sua aplicabilidade clínica e à sua efetividade variável na detecção de lesões cariosas, principalmente nos seus estágios mais iniciais [25]. Desta forma, nos últimos anos, nota-se uma demanda pela criação de métodos automatizados, como as redes neurais convolucionais (CNNs) que, por meio do aprendizado profundo, possam auxiliar os clínicos na detecção da cárie dentária, logo nos primeiros sinais [26-29].

As CNNs são algoritmos treináveis e mostram-se capazes de detectar padrões e classificar alterações, de maneira autônoma, por meio da extração de informações de uma imagem, como a forma, a iluminação e a distribuição de cor [30]. Diversas imagens odontológicas podem ser utilizadas para a aprendizagem das CNNs, como as radiografias [31,32] e as imagens de transiluminação infravermelha [33,34], porém são as fotografias intrabucais aquelas que se aproximam mais do exame visual, considerado o melhor método diagnóstico de lesões cariosas iniciais [35-42].

A avaliação do desempenho de CNNs treinadas a partir de fotografias odontológicas para a detecção da cárie dentária ainda é incipiente na Odontologia, sendo que, ao nosso conhecimento, apenas oito estudos

abordaram esse tema [35-42] e somente dois avaliaram o desempenho das redes na detecção de lesões iniciais [37,38]. Ademais, apesar do interesse crescente de pesquisadores pela detecção automática de lesões cariosas, nenhum dos estudos testou a utilização de CNN como método auxiliar no diagnóstico de cárie dentária por examinadores com diferentes níveis de experiência clínica. Neste sentido, a eficiência das CNN na Odontologia deve ser mais explorada, a partir do treinamento de uma rede capaz de detectar as lesões cariosas iniciais e auxiliar os clínicos.

Após o exposto, o presente trabalho propõe avaliar a aplicabilidade de CNN na detecção e classificação de padrões de higidez e de lesões cariosas iniciais utilizando fotografias oclusais de dentes extraídos, bem como verificar o desempenho da rede como método de auxílio ao diagnóstico.

METODOLOGIA

Aspectos éticos

Previamente à execução, este projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná (UFPR) (CAAE 25001219.5.0000.0102). Este estudo segue as diretrizes do *Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy Studies* (STARD) e o *Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging* (CLAIM).

Amostra

Foram avaliados todos os dentes posteriores extraídos, decíduos e permanentes, pertencentes aos Bancos de Dentes Humanos (BDH) vinculados ao Curso de Odontologia da UFPR e ao Setor de Ciências Biológicas da Saúde da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Os dentes do BDH-UFPR são estocados à seco, enquanto os do BDH-UEPG em água destilada. Foram excluídos aqueles que apresentavam manchamentos extrínsecos ou intrínsecos não-cariosos, ou com procedimentos restauradores, como selantes, restaurações e próteses, ou endodônticos, como abertura coronária e material obturador aparente. Dentes com defeitos de desenvolvimento de esmalte foram incluídos, desde que não houvesse perda de estrutura dentária suficiente para

prejudicar o exame clínico da cárie. Foram selecionados para o estudo 2.481 dentes (BDH-UFPR: 2.311; BDH-UEPG: 170), sendo 2.459 permanentes e 22 decíduos, com diferentes estágios de lesões de cárie dentária.

Exame clínico

O exame clínico dos dentes extraídos foi realizado sob luz artificial, com o auxílio de lanterna de LED, acoplada à cabeça do avaliador, e sonda exploradora de ponta romba (WHO, 2013). Os dentes armazenados em meio aquosos foram secos previamente ao exame clínico. Todos os dentes foram identificados por um número (ID) e avaliados quanto a presença de lesões de cárie dentária, utilizando o segundo código do critério do Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS) [21]. A superfície oclusal de cada dente avaliado recebeu um escore ICDAS, podendo variar de 0 a 6: 0 - Nenhuma ou sutil alteração na translucidez do esmalte após secagem de 5s; 1 - Opacidade dificilmente visível na superfície úmida, mas notável após secagem; 2 - Opacidade visível sem secagem; 3 - Cavitação localizada em esmalte opaco ou pigmentado, sem dentina visível; 4 - Sombreamento da dentina subjacente, com ou sem rompimento de esmalte; 5 - Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente; 6 - Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente, envolvendo mais da metade da superfície [21]. Neste estudo, os escores “1” foram agrupados aos dentes de escore “2” devido às limitações da detecção em superfícies úmidas em dentes extraídos. O exame clínico foi realizado por três avaliadores previamente calibrados, por meio de etapas teóricas e práticas, obtendo resultados satisfatórios para todos os aspectos clínicos avaliados: Kappa ponderado de concordância intra-examinadores (>95% e $K \geq 0,8892$) e interexaminadores (>95% e $K \geq 0,8133$), consideradas concordâncias ótimas [43]. A classificação final do índice averiguada por um quarto avaliador (examinador de referência). Os dados foram tabulados no software SPSS (versão 20.0 IBM, Brasil).

Bases de imagens

Após o exame clínico, foram selecionados os dentes extraídos com escore “0” (ICDAS-0) e com escore “2” (ICDAS-2), a fim de treinar a VGG-19

para a detecção de lesões iniciais de cárie dentária. As superfícies oclusais dos dentes selecionados foram fotografadas por uma avaliadora treinada com a câmera profissional Canos EOS Rebel T61®, com flash Canon Macro Ring Lite MR-14ex® e lente macro Ultrasonic®. A padronização das imagens foi realizada por meio da configuração da câmera em: velocidade do obturador de 1/100, abertura do diafragma em f22 e ISO em 100. Para simular possíveis variações de visualização clínica do dente, foram realizadas diversas tomadas de um mesmo dente, variando a angulação e distância focal. As fotografias foram disponibilizadas em alta resolução no formato JPG (*Joint Photographics Experts Group*) com tamanho de 6000x4000 *pixels* e com uma resolução vertical/horizontal de 72 dpi.

As fotografias oclusais dos dentes extraídos passaram por processos prévios, antes de compor a base de imagens que foi utilizada para aprendizagem da CNN. Primeiramente, as fotografias foram rotuladas, por três avaliadores treinados, no software Label Image Regions da biblioteca Scikit-image, desenvolvido em Python [44], e salvas em formato Pascal/VOC. Após a rotulação, os dentes foram recortados das imagens e os blocos de imagens resultantes incluíram apenas a superfície oclusal do dente extraído, removendo o fundo das imagens originais. A Figura 1 mostra exemplos de fotografias de dentes ICDAS-0 e ICDAS-2 rotuladas e, então, recortados.

Modelo de aprendizado profundo

O algoritmo utilizado na presente pesquisa foi a CNN VGG-19, proposta por Karen Simonyan e Andrew Zisserman [45]. Esse modelo pode ser empregado para detecção, classificação e localização de objetos em conjuntos de dados de imagens. Os dados de entrada da rede recebem um pré-processamento de subtração do valor RGB médio calculado no conjunto de treinamento, de cada pixel [45]. O processo inclui camadas de convolução com filtros de tamanhos 3x3 ou 1x1 e passo de convolução de 1 pixel, permitindo cobrir toda a noção da imagem. A operação de max-pooling é executada em uma janela de 2x2 pixels, com passo 2 [45].

Treinamento e teste da VGG-19

As imagens foram divididas nas bases de treinamento e de testes para permitir que o algoritmo alcance boa capacidade de generalização. A VGG19 utilizada tem como entrada imagens coloridas de 256x256, formando uma matriz de (256,256,3), o parâmetro de taxa de aprendizado (*learning rate*) utilizado foi 10^{-6} (0,000001), foi utilizada a técnica de *transfer learning* com os pesos da rede pré-treinados e 50 épocas de treinamento. A parte de classificação da rede foi alterada, as três últimas camadas densas com os tamanhos 4096, 4096 e 1000 foram retiradas e seis camadas, com tamanhos 1000, 800, 400, 200, 100 e 2, foram inseridas. A última camada com tamanho 2 é a que classifica em ICDAS-0 ou ICDAS-2. No treinamento, foi utilizado a técnica de data augmentation e todas as imagens do treino sofreram alterações (rotação, flip horizontal e vertical, cisalhamento e inserção de ruído gaussiano) para a criação de novas imagens sintéticas. Ainda nessa etapa, a cada interação a VGG-19 foi testada em uma sub-base chamada de validação.

Após o término do treinamento, o classificador foi testado na base de teste e os resultados obtidos pela rede foram comparados ao examinador de referência, a fim de se obter as métricas de desempenho da VGG-19: acurácia, sensibilidade, especificidade e F1-score.

Ainda durante os testes, objetivando verificar a aplicabilidade clínica da CNN, foi investigado o potencial da rede no auxílio ao diagnóstico de lesões iniciais de cárie dentária. Na primeira fase (Fase I), as imagens da base de teste foram avaliadas por três examinadores: um aluno de graduação (AG), um cirurgião-dentista recém-graduado (CG) e um especialista em Odontopediatria (EO). Cada examinador avaliou as fotografias oclusais de maneira individual e cega atribuindo escores ICDAS "0" ou "2" a cada dente avaliado, registrando os códigos em uma tabela online na plataforma *Google Sheets*. Em segundo momento (Fase II), foram fornecidos aos examinadores os resultados do classificador para que eles pudessem reavaliar as fotografias com auxílio da CNN. Nesta segunda fase, cada examinador pode decidir se manteria ou alteraria os escores ICDAS atribuídos em cada um dos dentes na fase I. As métricas de desempenho dos participantes foram obtidas nas fases I e II e a diferença de acertos entre as fases foi analisada estatisticamente, através do teste Mc Nemar, com o auxílio do programa STATA versão 12.0 (StataCorp LP,

College Station, Estados Unidos). O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5%.

RESULTADOS

Características da base de dados

Foram confeccionadas 1.778 fotografias oclusais dos dentes extraídos. Após a aplicação da técnica de *data augmentation* nas imagens do treinamento, a base de treino foi composta por 8.749 imagens, sendo 8.549 foram reservadas para o treinamento propriamente dito e 200 para a validação. A base de validação e teste não passaram pela técnica de *data augmentation* e foram separadas de forma que nenhuma delas estivesse na base de treinamento. Após o término da etapa treinamento, o classificador foi testado na base de testes, composta por 140 imagens de dentes ICDAS-0 (n=70) e ICDAS-2 (n=70). Ao todo 8.889 imagens compuseram a base de dados utilizada para aprendizagem e teste da rede (Tabela1).

Métricas de desempenho da VGG-19

Na base de testes, a rede apresentou 0,879 de acurácia, 0,827 de sensibilidade, precisão de 0,949 e F1-score de 0,887 na detecção de padrões de higidez e de lesões iniciais nas 140 imagens de dentes extraídos (Tabela 2).

Auxílio ao diagnóstico

Na fase I, os examinadores AG, CG e EO obtiveram, respectivamente, 76, 108 e 113 acertos e na fase II 95, 124 e 120. O número de acertos foi significativamente maior comparando as Fases I e II para todos os participantes ($p < 0,05$). Em relação à acurácia, os participantes apresentaram valores de AG=0,543, CG=0,771 e EO=0,807, já na fase II foi de AG=0,679, CG=0,886 e EO=0,857. Em relação a sensibilidade e a especificidade, respectivamente, os participantes apresentaram na Fase I AG=0,54 e 0,54; CG=0,88 e 0,65; EO=0,96 e 0,66, enquanto na fase II os valores obtidos foram de AG= 0,76 e 0,88; CG=1,0 e 0,77; EO=0,97 e 0,74. O F1-score foi de 0,54, 0,68 e 0,74 na primeira fase e 0,68, 0,87 e 0,83 na fase II para AG, CG e EO, respectivamente (Tabela 3).

DISCUSSÃO

A cárie dentária é uma doença altamente prevalente [1] e a sua detecção em seus estágios iniciais pode ser desafiador para o clínico [46]. O diagnóstico precoce permite o estabelecimento de um tratamento mais adequado, preservando ao máximo a estrutura dental sadia e, conseqüentemente, evitando a evolução das lesões que poderia resultar em tratamentos restauradores mais complexos ou, até mesmo, na extração dentária [17]. Portanto, o desenvolvimento e a comprovação da aplicabilidade de algoritmos de aprendizado profundo como auxílio ao diagnóstico de cárie dentária nos estágios iniciais, a partir de fotografias oclusais, são fundamentais para auxiliar o clínico a tornar suas decisões e o seu plano de tratamento mais assertivos. Ademais, a utilização de CNN pode tornar o exame clínico mais simples e rápido, além de reduzir as subjetividades do exame visual, inerentes à expertise e ao desempenho do examinador, proporcionando maior segurança ao paciente.

O algoritmo treinado VGG-19 apresentou bom desempenho na detecção de lesões cariosas iniciais em fotografias oclusais de dentes extraídos, visto que alcançou métricas satisfatórias na etapa de testes (0,879 de acurácia, 0,827 de sensibilidade, precisão de 0,949 e F1-score de 0,887). Esses resultados sugerem que a rede obteve um alto número de acertos, conseguindo identificar, de maneira satisfatória, os padrões de lesões iniciais de cárie dentária em dentes com a superfície oclusal realmente cariada (sensibilidade) e de maneira altamente assertiva os padrões de higidez em dentes realmente hígidos (especificidade). Apenas dois estudos avaliaram o desempenho de CNNs na detecção de lesões iniciais em fotografias odontológicas e obtiveram resultados semelhantes [37, 38]. Kuhnisch et al., utilizaram 1.100 fotografias intrabucais de caninos, pré-molares e molares, previamente avaliadas pelo ICDAS, para aprendizagem da MobileNetV2, obtendo 85,2% de acurácia na detecção de lesões cariosas iniciais (não-cavidades) [37]. Corroborando o bom desempenho das CNN na detecção da cárie dentária nos estágios iniciais, Li et al. Utilizando 712 fotografias intrabucais, obtiveram valores de sensibilidade e de especificidade de 95,8% e 99%, respectivamente. No entanto, esses autores relataram qual índice foi utilizado para a sistematização do exame visual [38]. Dentre os sistemas disponíveis, o ICDAS, utilizado na presente pesquisa,

mostra-se mais eficiente para a detecção das lesões cariosas iniciais, pois abrange diversos aspectos clínicos, desde os primeiros sinais, e possui uma precisão diagnóstica equiparável ao exame histológico para a detecção de lesões na superfície oclusal [22,23]. Os estudos prévios que utilizaram fotografias odontológicas para a detecção de lesões de cárie dentária não distinguiram os diferentes estágios das lesões cariosas [36,39-42] ou investigaram o desempenho da rede na diferenciação entre lesões iniciais de cárie e opacidades provenientes de defeitos de desenvolvimento de esmalte [35].

Apesar da detecção da cárie dentária ser um desfecho já explorado no desenvolvimento de CNNs, a maioria dos estudos realizados utilizou como base de dados de imagens radiografias odontológicas [25,47]. Entretanto, esse exame complementar não é capaz de detectar lesões iniciais de cárie em superfícies oclusais dentárias, devido a perda mineral incipiente dessas lesões e a sobreposição do esmalte das cúspides vestibulares e linguais sobre a região de fissuras oclusais [25,37]. Por outro lado, as fotografias, como dado de entrada das redes, representam ótimo custo-benefício, já que além de serem o tipo de imagem que mais se assemelha ao exame visual, são de fácil obtenção, uma vez que podem ser capturadas por diferentes recursos incluindo smartphone, câmera digital, câmera profissional ou câmera intraoral. Vale ressaltar que esta é uma das primeiras pesquisas a utilizar as fotografias odontológicas no processo de aprendizagem profunda de uma CNN para a detecção de lesões iniciais de cárie dentária, além de utilizar como dispositivo fotográfico uma câmera profissional que permite o registro de fotografias oclusais de excelente qualidade, colaborando para a visualização de lesões cariosas mais brandas.

Ainda que as imagens utilizadas nesta pesquisa são decorrentes de dentes extraídos, todas as fotografias foram submetidas a pré-processamentos que resultaram em imagens semelhantes àquelas utilizadas pelos autores que realizaram a aprendizagem profunda com fotografias intrabucais, como o recorte do dente e a eliminação de ruídos na imagem, permitindo que o algoritmo foque apenas na região de interesse [35-42]. Além disso, as fotografias foram realizadas com diferentes angulações e distâncias do dente, simulando as situações reais de uma tomada fotográfica em boca, permitindo que mais imagens e visões das lesões cariosas fossem treinadas pela VGG-19.

A literatura sugere fortemente que o uso de métodos automatizados na Odontologia é promissor e possui grande potencial para o auxílio ao diagnóstico de cárie dentária [26,34,39,42]. Entretanto, ao nosso conhecimento, nenhum dos estudos que investigaram o uso de CNN na detecção de lesões cariosas a partir de fotografias intrabucais, avaliou o desempenho desses algoritmos de aprendizado profundo como método auxiliar ao diagnóstico de cárie dentária, uma vez que não abordaram o desempenho de examinadores antes e após os resultados da rede. Nesse sentido, a presente pesquisa é o primeiro estudo a apresentar este resultado e observou um bom desempenho de uma CNN no auxílio ao diagnóstico de lesões cariosas iniciais em fotografias oclusais, uma vez que examinadores com diferentes níveis de experiência clínica melhoraram significativamente suas performances após terem acesso aos resultados de classificação da rede. É importante ressaltar que a acurácia dos avaliadores permaneceu inferior àquela obtida pelo algoritmo em todas as fases de testes.

Os resultados obtidos na presente pesquisa apresentam limitações, uma vez que os dentes extraídos utilizados para a confecção das imagens foram submetidos a etapas prévias de desinfecção e estocagem que podem modificar o aspecto clínico desses dentes em relação ao momento que ainda estavam em boca. Além disso, foram excluídos os dentes que apresentavam manchamentos extrínsecos ou intrínsecos não-cariosos ou que tinham procedimentos restauradores ou endodônticos. Desta maneira, o bom desempenho da VGG-19, verificado neste estudo, deve servir como resultado preliminar para impulsionar a realização de novas pesquisas com fotografias intrabucais que apresentem dentes com diferentes situações clínicas, permitindo assim uma maior aplicabilidade das redes de aprendizado profundo na prática clínica odontológica.

CONCLUSÃO

A rede de aprendizado profundo VGG-19 apresentou bom desempenho na detecção de padrões de higidez e de lesões cariosas iniciais a partir de fotografias de superfícies oclusais de dentes extraídos, além de proporcionar auxílio ao diagnóstico de lesões iniciais de cárie dentária.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Código Financeiro 001.

REFERÊNCIAS

- [1] GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet* (2018) 10;392(10159):1789-1858. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32279-7
- [2] Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, Listl S, Celeste RK, Guarnizo-Herreño CC, Kearns C, Benzian H, Allison P, Watt RG. Oral diseases: a global public health challenge. *Lancet* (2019) 20;394(10194):249-260. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31146-8.
- [3] Lima JEO. Cárie dentária: um novo conceito. *Rev Dent Press Ortodon Ortop Facial* (2007) 12(6). doi: 10.1590/S1415-54192007000600012
- [4] García-Pérez Á, Irigoyen-Camacho ME, Borges-Yáñez SA, Zepeda-Zepeda MA, Bolona-Gallardo I, Maupomé G. Impact of caries and dental fluorosis on oral health-related quality of life: a cross-sectional study in schoolchildren receiving water naturally fluoridated at above-optimal levels. *Clin Oral Investig* (2017) 21(9):2771-2780. doi: 10.1007/s00784-017-2079-1
- [5] Lacerda JT de, Castilho EA de, Calvo MCM, Freitas SFT de. Saúde bucal e o desempenho diário de adultos em Chapecó, Santa Catarina, Brasil. *Cad Saúde Pública* (2008) 24(8). doi: 10.1590/S0102-311X2008000800013
- [6] Mota-Veloso I, Soares ME, Alencar BM, Marques LS, Ramos-Jorge ML, Ramos-Jorge J. Impact of untreated dental caries and its clinical consequences on

the oral health-related quality of life of schoolchildren aged 8-10 years. *Qual Life Res* (2016) 25(1):193-9. doi: 10.1007/s11136-015-1059-7

[7] Onoriobe U, Rozier RG, Cantrell J, King RS. Effects of enamel fluorosis and dental caries on quality of life. *J Dent Res* (2014) 93(10):972-9. doi: 10.1177/0022034514548705

[8] Ramos-Jorge J, Pordeus IA, Ramos-Jorge ML, Marques LS, Paiva SM. Impact of untreated dental caries on quality of life of preschool children: different stages and activity. *Community Dent Oral Epidemiol* (2014) 42(4):311-22. doi: 10.1111/cdoe.12086

[9] Scarpelli AC, Paiva SM, Viegas CM, Carvalho AC, Ferreira FM, Pordeus IA. Oral health-related quality of life among Brazilian preschool children. *Community Dent Oral Epidemiol* (2013) 41(4):336-44. doi: 10.1111/cdoe.12022

[10] Sheiham A, Steele JG, Marcenes W, Tsakos G, Finch S, Walls AW. Prevalence of impacts of dental and oral disorders and their effects on eating among older people; a national survey in Great Britain. *Community Dent Oral Epidemiol* (2001) 29(3):195-203. doi: 10.1034/j.1600-0528.2001

[11] Boeira GF, Correa MB, Peres KG, Peres MA, Santos IS, Matijasevich A, Barros AJ, Demarco FF. Caries is the main cause for dental pain in childhood: findings from a birth cohort. *Caries Res* (2012) 46(5):488-95. doi: 10.1159/000339491

[12] Brasil. SB Brasil 2010: Pesquisa Nacional de Saúde Bucal: resultados principais. Ministério da Saúde, 2012. bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/pesquisa_nacional_saude_bucal.pdf (accessed 1 Feb 2023).

[13] Organização Mundial Da Saúde (OMS). Oral health surveys: basics methods. 5th ed. Geneva: World Health Organization, 2013.

[14] Pitts NB, Baez RJ, Diaz-Guillory C, Donly KJ, Alberto Feldens C, McGrath C, Phantumvanit P, Seow WK, Sharkov N, Songpaisan Y, Tinanoff N, Twetman S. Early Childhood Caries: IAPD Bangkok Declaration. *J Dent Child (Chic)* (2019) 86(2):72.

[15] Machiulskiene V, Campus G, Carvalho JC, Dige I, Ekstrand KR, Jablonski-Momeni A, Maltz M, Manton DJ, Martignon S, Martinez-Mier EA, Pitts NB, Schulte AG, Splieth CH, Tenuta LMA, Ferreira Zandona A, Nyvad B. Terminology of Dental Caries and Dental Caries Management: Consensus Report of a Workshop Organized by ORCA and Cariology Research Group of IADR. *Caries Res.* (2020) 54(1):7-14. doi: 10.1159/000503309

[16] Peters MC, McLean ME. Minimally invasive operative care. I. Minimal intervention and concepts for minimally invasive cavity preparations. *J Adhes Dent* (2001) 3(1):7-16.

[17] Ericson D, Kidd E, McComb D, Mjör I, Noack, MJ. Minimally Invasive Dentistry--concepts and techniques in cariology. *Oral health & preventive dentistry* (2003) 1(1), 59–72.

[18] Marinho VA, Pereira GM. Revisão de literatura cárie: diagnóstico e plano de tratamento. *Rev. Un. Alfenas* (1998) 4: 27-37.

[19] Clovis JB, Horowitz AM, Kleinman DV, Wang MQ, Massey M. Maryland dental hygienists' knowledge, opinions and practices regarding dental caries prevention and early detection. *J Dent Hyg* (2012) 86(4):292-305.

[20] Manski MC, Parker ME. Early childhood caries: knowledge, attitudes, and practice behaviors of Maryland dental hygienists. *J Dent Hyg* (2010) 84(4):190-5.

[21] Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB. The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated

system for measuring dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* (2007) 35(3):170-8. doi: 10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x

[22] Alaa E, Messiry He. Comparative Evaluation of ICDAS, WHO and Histological Examination in Detection of Occlusal Carious Lesions. *Braz Dent Sci* (2020) 23(3).

[23] Carvalho RN, Letieri ADS, Vieira TI, Santos TMPD, Lopes RT, Neves AA, Pomarico L. Accuracy of visual and image-based ICDAS criteria compared with a micro-CT gold standard for caries detection on occlusal surfaces. *Braz Oral Res* (2018) 10;32:e60. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0060

[24] Gomez, J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health* (2015) 15(1). doi: 10.1186/1472-6831-15-S1-S3

[25] Foros P, Oikonomou E, Koletsi D, Rahiotis C. Detection Methods for Early Caries Diagnosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Caries Res* (2021) 55(4):247-259.

[26] Hwang JJ, Jung YH, Cho BH, Heo MS. An overview of deep learning in the field of dentistry. *Imaging Sci Dent* (2019) 49(1):1-7. doi: 10.5624/isd.2019.49.1.1

[27] Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, van der Laak JAWM, van Ginneken B, Sánchez CI. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal* (2017) 42:60-88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005

[28] Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res* (2020) 99(7):769-774. doi: 10.1177/0022034520915714

[29] Shan T, Tay FR, Gu L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res* (2021) 100(3):232-244. doi: 10.1177/0022034520969115

[30] Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks: the official journal of the International Neural Network Society* (2015) 61:85-117.

[31] Karimian N, Salehi HS, Mahdian M, Alnajjar, H, Tadinada A. Deep learning classifier with optical coherence tomography images for early dental caries detection. *Proc. SPIE 10473, Lasers in Dentistry XXIV* (2018) e: 1047304. doi: 10.1117/12.2291088

[32] Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent* (2018) 77:106-111. doi: 10.1016/j.jdent.2018.07.015

[33] Casalegno F, Newton T, Daher R, Abdelaziz M, Lodi-Rizzini A, Schürmann F, Krejci I, Markram H. Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning. *J Dent Res* (2019) 98(11):1227-1233. doi: 10.1177/0022034519871884

[34] Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *J Dent* (2019) 91:103226. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103226

[35] Askar H, Krois J, Rohrer C, Mertens S, Elhennawy K, Ottolenghi L, Mazur M, Paris S, Schwendicke F. Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study. *J Dent* (2021) 107:103615. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103615

[36] Ding B, Zhang Z, Liang Y, Wang W, Hao S, Meng Z, Guan L, Hu Y, Guo B, Zhao R, Lv Y. Detection of dental caries in oral photographs taken by mobile phones based on the YOLOv3 algorithm. *Ann Transl Med* (2021) 9(21):1622. doi: 10.21037/atm-21-4805

[37] Kühnisch J, Meyer O, Hesenius M, Hickel R, Gruhn V. Caries Detection on Intraoral Images Using Artificial Intelligence. *Journal of Dental Research* (2022) 101(2):158-165. doi:10.1177/00220345211032524

[38] Li RZ, Zhu JX, Wang YY, Zhao SY, Peng CF, Zhou Q, Sun RQ, Hao AM, Li S, Wang Y, Xia B. [Development of a deep learning based prototype artificial intelligence system for the detection of dental caries in children]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* (2021) 9;56(12):1253-1260. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210712-00323

[39] Park EY, Cho H, Kang S, Jeong S, Kim EK. Caries detection with tooth surface segmentation on intraoral photographic images using deep learning. *BMC Oral Health* (2022) 7;22(1):573. doi: 10.1186/s12903-022-02589-1

[40] Rashid U, Javid A, Khan AR, Liu L, Ahmed A, Khalid O, Saleem K, Meraj S, Iqbal U, Nawaz R. A hybrid mask RCNN-based tool to localize dental cavities from real-time mixed photographic images. *PeerJ Computer Science* (2022) 8:e888 <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.888>

[41] Zang XY, Qiao B, Meng FH, Jin NH, Hu SX, Li LB, Xing LJ, Chen F, Wang Y, Zhang HZ. [A deep learning segmentation model for detecting caries in molar teeth]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* (2022) 30;102(32):2538-2540. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20220422-008957

[42] Zhang X, Liang Y, Li W, Liu C, Gu D, Sun W, Miao L. Development and evaluation of deep learning for screening dental caries from oral photographs. *Oral Dis* (2022) 28(1):173-181. doi: 10.1111/odi.13735

[43] Landis J. R., Koch G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* (1977) 33(1):159–174.

[44] YU JSTS. Label image regions. 2013.

[45] Simonyan K, Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, International Conference on Representation, Vancouver, 2015.

[46] Lee JM, Shin SC, Cho JW, Choi YH, Moon YM, Jung SJ, Kwon JH. International Journal of ... The Evaluation for Oral Examination by Using of Intra-Oral Camera International journal of clinical preventive dentistry (2014) 10(2):113–120.

[47] Mohammad-Rahimi H, Motamedian SR, Rohban MH, Krois J, Uribe SE, Mahmoudinia E, Rokhshad R, Nadimi M, Schwendicke F. Deep learning for caries detection: A systematic review. J Dent (2022) 122:104115. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104115

[48] Dayo AF, Wolff MS, Syed AZ, Mupparapu M. Radiology of Dental Caries. Dental clinics of North America (2021) 65(3):427-445.

TABELAS

Tabela 1. Distribuição das fotografias oclusais dos dentes extraídos nas bases de dados de treinamento/validação e teste da CNN, segundo o critério ICDAS.

Índice ICDAS	Base de treinamento			Base de testes	Total bases
	Treinamento	Validação	Total		
0	4.543	100	4.643	70	4.713
2	4.006	100	4.106	70	4.176
Total	8.549	200	8.749	140	8.889

ICDAS= Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie

Tabela 2. Métricas da VGG-19 para detecção de lesões iniciais de cárie dentária.

Parâmetro	
Acurácia	0,879
Sensibilidade	0,827
Especificidade	0,949
F1-score	0,887

Tabela 3. Desempenho dos participantes na detecção de lesões iniciais de cárie dentária antes e após terem acesso aos resultados da CNN.

Métrica	Aluno de graduação		Recém-graduado em Odontologia		Especialista em Odontopediatria	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Acertos	76	95	108	124	113	120
p*		0,001		0,005		0,003
Acurácia	0,543	0,679	0,771	0,886	0,807	0,857
Sensibilidade	0,54	0,76	0,88	1,0	0,96	0,97
Especificidade	0,54	0,60	0,65	0,77	0,66	0,74
F1-Score	0,54	0,68	0,74	0,87	0,78	0,83

*Teste de McNemar

Resultados significantes destacados em negrito

FIGURAS

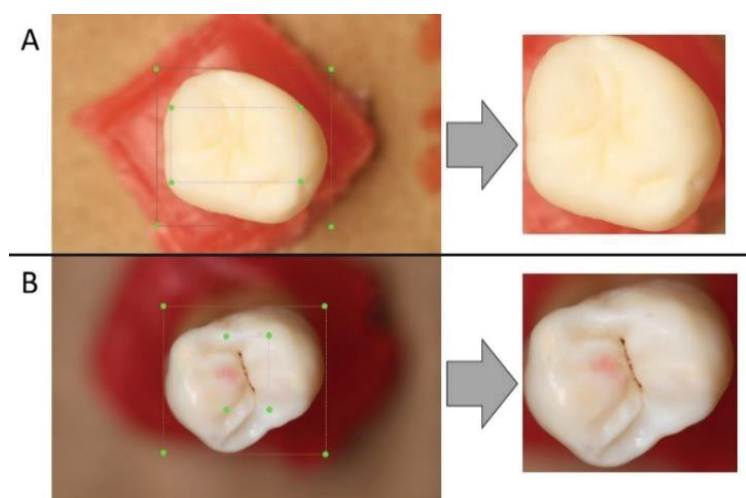


Figura 1. Fotografias oclusais de dentes extraídos rotuladas e imagens obtidas após o recorte. A: dente ICDAS-0; B: dente ICDAS-2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, estudos envolvendo o desenvolvimento de algoritmos de aprendizado profundo para a detecção e a classificação de alterações e doenças que acometem a saúde bucal têm sido propostos. Dentre eles, a cárie dentária é o tópico dominante nas investigações em razão de sua alta prevalência, seu impacto na saúde e no bem-estar dos indivíduos e seu complexo e subjetivo diagnóstico clínico. A detecção precoce das lesões cáries, logo nos primeiros sinais clínicos, é fundamental para o estabelecimento de um tratamento mais adequado, preservando ao máximo a estrutura dental sadia e, conseqüentemente, evitando a evolução das lesões que poderia resultar em tratamentos mais complexos ou, até mesmo, na perda do dente afetado.

Portanto, o desenvolvimento de métodos auxiliares automatizados para serem utilizados durante o exame clínico é fundamental para tornar as decisões clínicas mais rápidas e assertivas, beneficiando tanto o clínico como o paciente, já que aumenta a segurança dos planos de tratamento propostos. Nesse sentido, a presente pesquisa demonstrou um bom desempenho da rede VGG-19 na detecção de lesões cáries e no auxílio ao diagnóstico de lesões cáries nos estágios mais iniciais, a partir de fotografias de superfícies oclusais dentárias.

O bom desempenho da VGG-19, verificado neste estudo, deve servir como resultado preliminar para impulsionar a realização de novas pesquisas com fotografias intrabucais que apresentem dentes com diferentes situações clínicas, permitindo assim uma maior aplicabilidade das redes de aprendizado profundo na prática clínica odontológica. Além disso, em estudos futuros, a utilização de CNN deve ser explorada também como método de ensino odontológico, uma vez que sua utilização pode colaborar para o treinamento da detecção de lesões cáries oclusais nos seus estágios iniciais.

7 REFERÊNCIAS

ALAA, E.; EL-MESSIRY, H. Comparative Evaluation of ICDAS, WHO and Histological Examination in Detection of Occlusal Carious Lesions. *Brazilian Dental Science*, São Paulo, v.23, n.3, 2020.

ARROW, P. Child oral health- related quality of life (COHQoL), enamel defects of the first permanent molars and caries experience among children in Western Australia. *Community Dental Health*, Londres, v.30, n.3, p.183-188, 2013.

ASKAR, H.; KROIS, J.; ROHRER, C.; MERTENS, S.; ELHENNAWY, K.; OTTOLENGHI, L.; MAZUR, M.; PARIS, S.; SCHWENDICKE, F. Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study. *Journal of Dentistry*, Bristol, e:107:103615, 2021.

BOEIRA, G. F.; CORREA, M. B.; PERES, K. G.; PERES, M. A.; SANTOS, I. S.; MATIJASEVICH, A.; BARROS, A. J.; DEMARCO, F. F. Caries is the main cause for dental pain in childhood: findings from a birth cohort. *Caries Research*, Basel, v.46, n.5, p.488-495, 2012.

BOTTENBERG, P.; JACQUET, W.; BEHRENS, C.; STACHNISS, V.; JABLONSKIMOMENI, A. J. Comparison of occlusal caries detection using the ICDAS criteria on extracted teeth or their photographs. *BMC Oral Health*, London, v.16, n.1, p.93-93, 2016.

BOWDEN, G. H. W. Which bacteria are cariogenic in humans? In: JOHNSON, N. W. (Ed.). *Risk markers for oral diseases: dental caries*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

BRASIL. Ministério da Saúde. SB Brasil 2010: Pesquisa Nacional de Saúde Bucal: resultados principais. *Secretaria de Atenção à Saúde*, Brasília, Ministério da Saúde, 2012.

CARVALHO, R.N; LETIERI, A. S.; VIEIRA, T.I.; SANTOS, T.M.P.; LOPES R.T.; NEVES, A. A.; POMARICO, L. Accuracy of visual and image-based ICDAS criteria compared with a micro-CT gold standard for caries detection on occlusal surfaces. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v.32, e.60, 2018.

CASALEGNO, F.; NEWTON, T.; DAHER, R.; ABDELAZIZ, M.; LODI-RIZZINI, A.; SCHÜRMAN, F.; KREJCI, I.; MARKRAM, H. Caries detection with near-infrared transillumination using deep learning. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.98, n.11, p.1227–1233, 2019.

CLOVIS, J. B.; HOROWITZ, A. M.; KLEINMAN, D. V.; WANG, M. Q.; MASSEY, M. Maryland dental hygienists' knowledge, opinions and practices regarding dental caries prevention and early detection. **Journal of dental hygiene: JDL**, Chicago, v.86, n.4, p.292–305, 2012.

DAYO, A. F.; WOLFF, M. S.; SYED, A. Z.; MUPPARAPU, M. Radiology of Dental Caries. **Dental clinics of North America**, Philadelphia, v.65. n.3, p.427-445, 2021.

DING, B.; ZHANG, Z.; LIANG, Y.; WANG, W.; HAO, S.; MENG, Z.; GUAN, L.; HU, Y.; GUO, B.; ZHAO, R.; LV, Y. Detection of dental caries in oral photographs taken by mobile phones based on the YOLOv3 algorithm. **Annals of translational medicine**, Hong Kong, v.9, n.21, p.1622, 2021.

DINIZ, M. B.; LIMA, L. M.; SANTOS-PINTO, L.; ECKERT, G. J.; ZANDONÁ, A. G.; DE CÁSSIA LOIOLA CORDEIRO, R. Influence of the ICDAS e-learning program for occlusal caries detection on dental students. **Journal of dental education**, Washington, v.74, n.8, p.862–868, 2010.

ERICSON, D.; KIDD, E.; MCCOMB, D.; MJÖR, I.; NOACK, M. J. (2003). Minimally Invasive Dentistry--concepts and techniques in cariology. **Oral health & preventive dentistry**, New Malden, v.1, n.1, p.59–72, 2003.

FOROS, P.; OIKONOMOU, E.; KOLETSI, D.; RAHIOTIS, C. Detection Methods for Early Caries Diagnosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Caries Research**, Basel, v.55, n.4, p.247-259, 2021.

GARCÍA-PÉREZ, Á.; IRIGOYEN-CAMACHO, M. E.; BORGES-YÁÑEZ, S. A.; ZEPEDA-ZEPEDA, M. A.; BOLONA-GALLARDO, I.; MAUPOMÉ, G. Impact of caries and dental fluorosis on oral health-related quality of life: a cross-sectional study in schoolchildren receiving water naturally fluoridated at above-optimal levels. **Clinical Oral Investigations**, Berlin, v.21, n.9, p.2771-2780, 2017.

GLOBAL BURDEN OF DISEASE (GBD) 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **The Lancet**, Oxford, v.392, n.10159, p.1789-1858, 2018.

GOMEZ, J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. **BMC Oral Health**, London, v.15, n.1, p.3, 2015.

HAUGELAND, J. Artificial Intelligence: The Very Idea. **Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press**, 1985.

HWANG, J. J.; JUNG, Y. H.; CHO, B. H.; HEO, M.S. An overview of deep learning in the field of dentistry. **Imaging Science in Dentistry**, Seoul, v. 49, n. 1, p.1-7, 2019.

IMPARATO, J. C. P.; BRAGA, M. M.; MENDES, F. M. SELAMENTO DE CÁRIE: Uma Alternativa para Tratamento de Lesões de Cárie em Dentina. **São Paulo: Ed. 1, Editora Santos**, 2010.

ISMAIL, A. I.; SOHN, W.; TELLEZ, M.; AMAYA, A.; SEN, A.; HASSON, H. The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. **Community Dentistry and Oral Epidemiology**, Copenhagen, v. 35, n. 3, p. 170-178, 2007.

KAEWKAMNERDPONG, I.; KRISDAPONG, S. Oral diseases associated with condition-specific oral health-related quality of life and school performance of Thai primary school children: A hierarchical approach. **Community Dentistry and Oral Epidemiology**, Copenhagen, p.1-10, 2018.

KARIMIAN, N.; SALEHI, H. S.; MAHDIAN, M.; ALNAJJAR, H.; TADINADA, A. Deep learning classifier with optical coherence tomography images for early dental caries detection. **Proceedings of SPIE**, v.10473, 2018.

KAZEMINIA, M.; ABDI, A.; SHOHAIMI, S.; JALALI, R.; VAISI-RAYGANI, A.; SALARI, N.; MOHAMMADI, M. Dental caries in primary and permanent teeth in children's worldwide, 1995 to 2019: a systematic review and meta-analysis. **Head & face medicine**, Londres, v.16, n.1, p.22, 2020.

KHANAGAR, A.; AL-EHAIDEB, P. C.; MAGANUR, S.; VISHWANATHAIAH, S.; PATIL, H. A.; BAESHEN, S. C.; SARODE, S. C.; BHANDI, S. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry—A systematic review, **Journal of dental sciences**, Taipei, v.16, n.1, p.508–522, 2020.

KIDD, E. A.; FEJERSKOV, O. What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. **Journal of dental research**, Chicago, v.83, n.1, p.35-38, 2004.

KIRTHIGA, M.; MURUGAN, M.; SAIKIA, A.; KIRUBAKARAN, R. Risk Factors for Early Childhood Caries: A Systematic Review and Meta-Analysis of Case Control and Cohort Studies. **Pediatric Dentistry**, Chicago, v.41, n.2, p.95-112, 2019.

KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. **Advances In Neural Information Processing System**, p. 1-9, 2012.

KÜHNISCH, J.; MEYER, O.; HESENIUS, M.; HICKEL, R.; GRUHN, V. Caries Detection on Intraoral Images Using Artificial Intelligence. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.101, n.2, p.158-165, 2022.

LACERDA, J. T.; CASTILHO, E. A.; CALVO, M. C.; FREITAS, S. F. Saúde bucal e o desempenho diário de adultos em Chapecó, Santa Catarina, Brasil [Oral health and daily performance in adults in Chapecó, Santa Catarina State, Brazil]. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.24, n.8, p.1846–1858. 2008.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, London, v. 521, n. 1, p. 436-444, 2015.

LEE, J. T.; LEE, K. H.; SEO, J. H.; CHUN, J. A.; PARK, J. H. The evaluation for oral examination by using of intra-oral camera. **International journal of clinical preventive dentistry**, Seoul, v.10, n.2, p.113–120, 2014.

LEE, J. H.; KIM, D. H.; JEONG, S. N.; CHOI, S. H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. **Journal of Dentistry**, Bristol, v.77, p.106-111, 2018.

LI, R. Z.; ZHU, J. X.; WANG, Y. Y.; ZHAO, S. Y.; PENG, C. F.; ZHOU, Q.; SUN, R. Q.; HAO, A. M.; LI, S.; WANG, Y.; XIA, B. Development of a deep learning based prototype artificial intelligence system for the detection of dental caries in children. **Chinese journal of stomatology**, Beijing, v.56, n.12, p.1253-1260, 2021.

LIMA, J. E. O. Cárie dentária: um novo conceito. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, Maringá, v.12, n.6, p.119-130, 2007.

LIMA, D. C.; SALIBA, N. A.; MOIMAZ, S. A. S. Tratamento restaurador atraumático e sua utilização em saúde pública. **Revista Gaúcha de odontologia**, Porto alegre, v.56, n.1, p.75-79, 2008.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics bulletin**, Washington, v.33, n.1, p.159-175, 1977.

LITJENS, G. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. **Medical Images Analysis**, London, v. 42, p. 60-88, 2017.

LU, J.; BEHBOOD, V.; HAO, P.; ZUO, H.; XUE, S.; ZHANG, G. Transfer learning using computational intelligence: A survey. **Knowledge-Based System: Elsevier B.V**, Amsterdam, v.80, p. 14-23, 2015.

LUSSI, A.; IMWINKELRIED, S.; PITTS, N.; LONGBOTTOM, C.; REICH, E. Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. **Caries Research**, Basel, v.33, n.4, p.261-266, 1999.

MACHIULSKIENE, V.; CAMPUS, G.; CARVALHO, J. C.; DIGE, I.; EKSTRAND, K. R.; JABLONSKI-MOMENI, A.; MALTZ, M.; MANTON, D. J.; MARTIGNON, S.; MARTINEZ-MIER, E. A.; PITTS, N. B.; SCHULTE, A. G.; SPLIETH, C. H.; TENUTA, L.; FERREIRA ZANDONA, A.; NYVAD, B. Terminology of Dental Caries and Dental Caries Management: Consensus Report of a Workshop Organized by ORCA and Cariology Research Group of IADR. **Caries Research**, Basel, v.54, n.1, p.7–14, 2020.

MANSKI, M. C.; PARKER, M. E. Early childhood caries: knowledge, attitudes, and practice behaviors of Maryland dental hygienists. **Journal of dental hygiene: JDL**, Chicago, v.84, n.4, p.190-195, 2010.

MARINHO, V. A., PEREIRA, G. M. Revisão de literatura cárie: diagnóstico e plano de tratamento. **Revista Universitária de Alfenas**, Alfenas, v.4, p.27-37, 1998.

MCCULLOCH, W.S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v.5, p.115–133, 1943.

MOHAMMAD-RAHIMI, H.; MOTAMEDIAN, S. R.; ROHBAN, M. H.; KROIS, J.; URIBE, S. E.; MAHMOUDINIA, E.; ROKHSHAD, R.; NADIMI, M.; SCHWENDICKE, F. Deep learning for caries detection: A systematic review. **Journal of Dentistry**, Bristol, v.122, e.104115, 2022.

MOTA-VELOSO, I.; SOARES, M. E.; ALENCAR, B. M.; MARQUES, L. S.; RAMOS-JORGE, M. L.; RAMOS-JORGE, J. Impact of untreated dental caries and its clinical consequences on the oral health-related quality of life of schoolchildren aged 8-10 years. **Quality of Life Research**, Oxford, v.25, n.1, p.193-199, 2015.

ONORIOBE, U.; ROZIER, R. G.; CANTRELL, J.; KING, R. S. Effects of enamel fluorosis and dental caries on quality of life. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.93, n.10, p.972-979, 2014.

OPAL, S.; GARG, S.; JAIN, J.; WALIA, I. Genetic factors affecting dental caries risk. **Australian dental journal**, Sydney, v.60, n.1, p.2–11, 2015.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Oral health surveys: basics methods. **5th ed. Geneva: World Health Organization**, 2013.

PARK, E. Y.; CHO, H.; KANG, S.; JEONG, S.; KIM, E. K. Caries detection with tooth surface segmentation on intraoral photographic images using deep learning. **BMC Oral Health**, London, v.22, n.1, p.573, 2022.

PERES, M. A.; MACPHERSON, L.; WEYANT, R. J.; DALY, B.; VENTURELLI, R.; MATHUR, M. R.; LISTL, S.; CELESTE, R. K.; GUARNIZO-HERREÑO, C. C.; KEARNS, C.; BENZIAN, H.; ALLISON, P.; WATT, R. G. Oral diseases: a global public health challenge. **The Lancet**, Oxford, v.394, n.10194, p.249–260, 2019.

PETERS, M. C.; MCLEAN, M. E. Minimally invasive operative care. I. Minimal intervention and concepts for minimally invasive cavity preparations. **The Journal of Adhesive Dentistry**, New Malden, v.3, n.1, p.7–16, 2001.

PITTS, N. B.; BAEZ, R. J.; DIAZ-GUILLORY, C.; DONLY, K. J.; ALBERTO FELDENS, C.; MCGRATH, C.; PHANTUMVANIT, P.; SEOW, W. K.; SHARKOV, N.; SONGPAISAN, Y.; TINANOFF, N.; TWETMAN, S. Early Childhood Caries: IAPD Bangkok Declaration. **Journal of dentistry for children**, Chicago, v.86, n.2, p. 72, 2019.

PRINCE, S. J. D. Computer Vision: Model, Learning and Inference. **Cambridge University Press**, 2012.

RAMOS-JORGE, J.; PORDEUS, I. A.; RAMOS-JORGE, M. L.; MARQUES, L. S.; PAIVA, S. M. Impact of untreated dental caries on quality of life of preschool children: different stages and activity. **Community Dentistry and Oral Epidemiology**, Copenhagen, v.42, n.4, p.311–322, 2014.

RASHID, U.; JAVID, A.; KHAN, A. R.; LIU, L.; AHMED, A.; KHALID, O.; SALEEM, K.; MERAJ, S.; IQBAL, U., NAWAZ, R. A hybrid mask RCNN-based tool to localize dental cavities from real-time mixed photographic images. **PeerJ. Computer Science**, San Diego, v.8, e.888, 2022.

RODRIGUES, J.A.; DE OLIVEIRA, R.S.; HUG, I.; NEUHAUS, K.; LUSSI, A. Performance of experienced dentists in Switzerland after an e-learning program on ICDAS occlusal caries detection. **Journal of dental education**, Washington, v.77, n.8, p.1086-1091, 2013.

ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological review**, Washington, v.65, n.6, p.386-408, 1958.

SCARPELLI, A.C.; PAIVA, S.M.; VIEGAS, C.M.; CARVALHO, A.C.; FERREIRA, F.M.; PORDEUS, I.A. Oral health- related quality of life among Brazilian preschool children. **Community Dental and Oral Epidemiology**, Copenhagen, v.41, n. 4, p. 336 - 344, 2013.

SCHMIDHUBER, J. Deep learning in neural networks: An overview. **Neural networks: the official journal of the International Neural Network Society**, New York, v. 61, p. 85-117, 2015.

SCHWENDICKE, F.; SAMEK, W.; KROIS, J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.99, n.7, p. 769–774, 2020.

SCHWENDICKE F, GOLLA T, DREHER M, KROIS J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: a scoping review. **Journal of Dentistry**, Bristol, v.91, p.103226, 2019.

SCHWENDICKE, F.; CEJUDO GRANO DE ORO, J.; GARCIA CANTU, A.; MEYER-LUECKEL, H.; CHAURASIA, A.; KROIS, J. Artificial Intelligence for Caries Detection: Value of Data and Information. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.101, n.11, p.1350-1356, 2022.

SHAN, T.; TAY, F. R.; GU, L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.100, n.3, p.232–244, 2021.

SHAPIRO, L.; STOCKMAN, G. Computer Vision. **Prentice Hall**, 2000.

SHEIHAM, A.; STEELE, J. G.; MARCENES, W.; TSAKOS, G.; FINCH, S.; WALLS, A. W. Prevalence of impacts of dental and oral disorders and their effects on eating among older people; a national survey in Great Britain. **Community dentistry and oral epidemiology**, Copenhagen, v.29, n.3, p.195–203, 2001.

SIMONYAN, K.; ZISSERMAN, A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, International Conference on Representation, Vancouver, 2015.

SLAYTON R. L. Clinical Decision-making for Caries Management in Children: An Update. **Pediatric dentistry**, Chicago, v.37, n.2, p. 106–110, 2015.

SOUNAH, S. A.; MADFA, A. A. Correlation between dental caries experience and the level of Streptococcus mutans and lactobacilli in saliva and carious teeth in a Yemeni adult population. **BMC Research Notes**, Londres, v.13, n.1, p.112, 2020.

VISA, S.; RAMSAY, B.; RALESCU, A.; KNAAP E. V. D. Confusion matrix-based feature selection. **Proceedings of The 22nd Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference**, p.120-127, 2011.

YU, J. S. T. S. Label image regions. 2013.

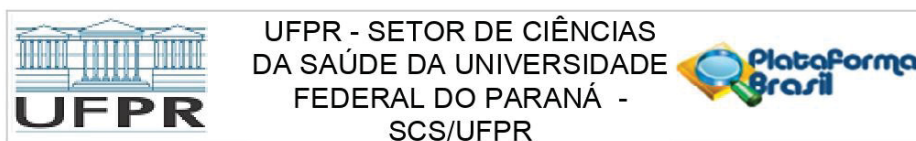
ZANG, X.Y.; QIAO, B.; MENG, F. H.; JIN, N. H.; HU, S. X.; LI, L. B.; XING, L. J.; CHEN, F.; WANG, Y.; ZHANG, H. Z. A deep learning segmentation model for detecting caries in molar teeth. **Chinese journal of stomatology**, Beijing, v.102, n.32, p.2538-2540, 2022.

ZHANG, X.; LIANG, Y.; LI, W.; LIU, C.; GU, D.; SUN, W.; MIAO, L. Development and evaluation of deep learning for screening dental caries from oral photographs. **Oral diseases**, Houdmills, v.28, n.1, p.173-181, 2022.

ZHOU, Y.; YANG, J. Y.; LO, E. C.; LIN, H. C. The contribution of life course determinants to early childhood caries: a 2-year cohort study. **Caries Research**, Basel, v.46, n.2, p.87-94, 2012.

8 APÊNDICES E ANEXOS

ANEXO 1 - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA



UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ -
SCS/UFPR

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PADRÕES DENTÁRIOS UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO

Pesquisador: LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 25001219.5.0000.0102

Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação em Odontologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.715.610

Apresentação do Projeto:

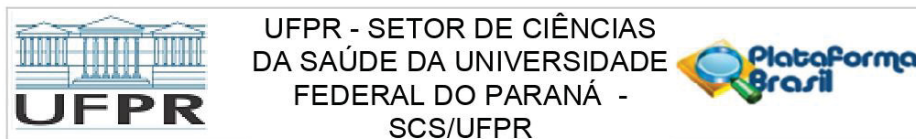
O presente projeto pretende, por meio da utilização fotografias clínicas intrabucais, classificar e caracterizar padrões dentários em CNN (Convolutional Neural Network), a assim contribuir para o estabelecimento desta metodologia e, conseqüentemente, no aumento da sua aplicabilidade. Segundo os pesquisadores, representa um avanço para a Odontologia, uma vez que o uso de CNN pode facilitar e auxiliar o diagnóstico de alterações dentárias.

Objetivo da Pesquisa:

- Geral:

Classificar os padrões dentários em situações de normalidade, de lesões cárie dentária e dos defeitos de desenvolvimento do esmalte (DDE) observados em fotografias intrabucais, por meio da utilização de metodologias de aprendizado profundo, buscando automatizar o processo de diagnóstico de alterações dentárias que acometem a saúde dental, permitindo assim, auxiliar o diagnóstico realizado pelos

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar
Bairro: Alto da Glória **CEP:** 80.060-240
UF: PR **Município:** CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259 **E-mail:** cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 3.715.610

cirurgiões dentistas.

- Específicos:

- Observar o desempenho de uma arquitetura de Rede Neural pré-treinada para a classificação de estruturas dentárias, cárie e DDE;
- Analisar o comportamento da técnica de transferência de aprendizagem em CNNs para classificar blocos de fotografias intrabucais;
- Analisar o desempenho das Convolutional Neural Network (CNN) aplicadas ao contexto de detecção e classificação de fotografias odontológicas;
- Treinar e testar alguns modelos recentes de CNNs para detectar e classificar automaticamente os padrões dentários de normalidade, cárie e DDE em fotografias intrabucais inteiras;

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

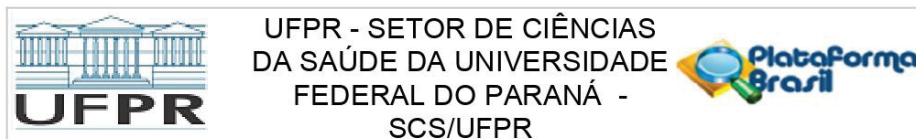
Riscos:

Os possíveis riscos envolvidos nessa pesquisa incluem constrangimento das crianças no momento do exame clínico e das fotografias. Estes riscos serão minimizados com a realização de apenas fotografias intrabucais, preservando a identidade da criança. Caso a criança sinta algum desconforto durante o exame clínico, o mesmo poderá ser interrompido a qualquer momento. Em uma possível divulgação dos resultados, os nomes serão transformados em códigos, preservando-se o anonimato. As fotografias permanecerão armazenadas sob responsabilidade do pesquisador responsável, que manterá o sigilo dos dados obtidos.

Benefícios:

Após a avaliação do desempenho da CNN na detecção de alterações dentárias, esta metodologia poderá auxiliar os profissionais no diagnóstico de alterações dentárias, representando um importante avanço para

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar	CEP: 80.060-240
Bairro: Alto da Glória	
UF: PR	Município: CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259	E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 3.715.610

área. Do mesmo modo, os participantes estarão contribuindo para este avanço científico, visto que somente a partir da realização destas fotografias será possível o treinamento das redes de aprendizado profundo com uma nova fonte de dados, e, a longo prazo, também desfrutarão da utilização de CNN na Odontologia, já que implicará no aumento da assertividade diagnóstica

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa com a finalidade de automatizar o processo de diagnóstico de alterações dentárias que acometem a saúde dental, permitindo assim, auxiliar o diagnóstico realizado pelos cirurgiões dentistas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos foram apresentados

Recomendações:

A pendência número 1 do parecer anterior se referia à correção gramatical de "Os pesquisadores poderão ser contatadas" para "As pesquisadoras poderão ser contatadas".

Sugere-se correção.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

As pendências foram corrigidas. Recomendo aprovação do projeto.

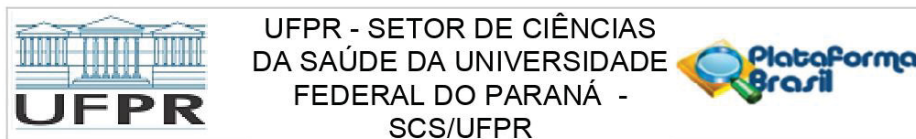
- É obrigatório retirar na secretaria do CEP/SD uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido com carimbo onde constará data de aprovação por este CEP/SD, sendo este modelo reproduzido para aplicar junto ao participante da pesquisa.

*Em caso de projetos com Coparticipantes que possuam Comitês de Ética, seu TCLE somente será liberado após aprovação destas instituições.

O TCLE deverá conter duas vias, uma ficará com o pesquisador e uma cópia ficará com o participante da pesquisa (Carta Circular nº. 003/2011CONEP/CNS).

Favor agendar a retirada do TCLE pelo telefone 41-3360-7259 ou por e-mail cometica.saude@ufpr.br, necessário informar o CAAE.

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar	CEP: 80.060-240
Bairro: Alto da Glória	
UF: PR	Município: CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259	E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 3.715.610

Considerações Finais a critério do CEP:

Solicitamos que sejam apresentados a este CEP, relatórios semestrais e final, sobre o andamento da pesquisa, bem como informações relativas às modificações do protocolo, cancelamento, encerramento e destino dos conhecimentos obtidos, através da Plataforma Brasil - no modo: NOTIFICAÇÃO. Demais alterações e prorrogação de prazo devem ser enviadas no modo EMENDA. Lembrando que o cronograma de execução da pesquisa deve ser atualizado no sistema Plataforma Brasil antes de enviar solicitação de prorrogação de prazo.

Emenda – ver modelo de carta em nossa página: www.cometica.ufpr.br (obrigatório envio)

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1395195.pdf	13/11/2019 16:59:42		Aceito
Outros	Carta_ao_CEP_pendencias.pdf	13/11/2019 16:58:52	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Corrigido.docx	13/11/2019 16:55:50	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_DeepLearning_CORRIGIDO_13_11_19.doc	13/11/2019 16:55:31	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	ServicoOdontopediatria.pdf	05/11/2019 00:53:43	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	ServicoInf.pdf	01/11/2019 16:54:26	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_declaracaodeciencia.pdf	29/10/2019 10:30:05	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_ausenciadecustos.pdf	24/10/2019 16:23:41	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_requirimento.pdf	24/10/2019 16:22:54	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	cartaaocerto.pdf	24/10/2019 16:22:19	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	analisedomerito_certo.pdf	24/10/2019 16:22:06	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE.docx	24/10/2019 14:54:13	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

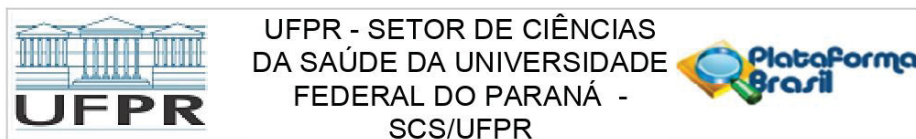
CEP: 80.060-240

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 3.715.610

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_certo.docx	24/10/2019 14:54:03	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracaodecompromisso.pdf	11/10/2019 23:41:54	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_DeepLearning_Final_07_10_19.doc	07/10/2019 16:05:02	LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON	Aceito
Outros	AutorizacaoSME.pdf	06/10/2019 18:36:29	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	extratoprojeto.pdf	04/10/2019 15:32:10	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	CheckList.pdf	04/10/2019 15:29:42	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Folha de Rosto	Folhaderosto.pdf	04/10/2019 15:22:43	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

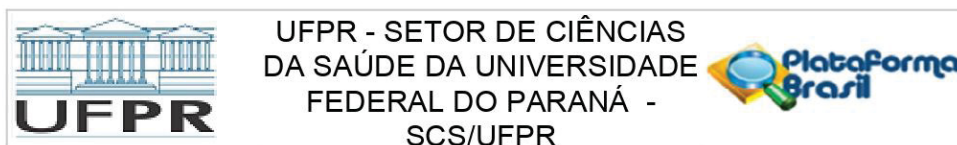
Não

CURITIBA, 20 de Novembro de 2019

Assinado por:
IDA CRISTINA GUBERT
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar
Bairro: Alto da Glória **CEP:** 80.060-240
UF: PR **Município:** CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259 **E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

ANEXO 2 - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA (EMENDA)



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PADRÕES DENTÁRIOS UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO

Pesquisador: LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 25001219.5.0000.0102

Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação em Odontologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.835.398

Apresentação do Projeto:

O presente projeto pretende, por meio da utilização de fotografias clínicas intrabucais, classificar e caracterizar padrões dentários em CNN (Convolutional Neural Network), a fim de contribuir para o estabelecimento desta metodologia e, conseqüentemente, no aumento da sua aplicabilidade. Segundo os pesquisadores, representa um avanço para a Odontologia, uma vez que o uso de CNN pode facilitar e auxiliar o diagnóstico de alterações dentárias.

Com a presente emenda, os pesquisadores pretendem ampliar as análises e avaliar dentes de Bancos de dentes de duas universidades: UFPR e UEPG. As análises dos dentes serão realizadas previamente ao exame dos escolares.

Desse modo, houve alteração em: local de realização de pesquisa, fontes de material de pesquisa, medidas de proteção ou minimização de qualquer risco eventual e cronograma.

Com a presente alteração, houve mudança também no local de realização de pesquisa, devido à participação do Banco de Dentes da UEPG.

Objetivo da Pesquisa:

Os objetivos iniciais do projeto são os seguintes:

- Geral:

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

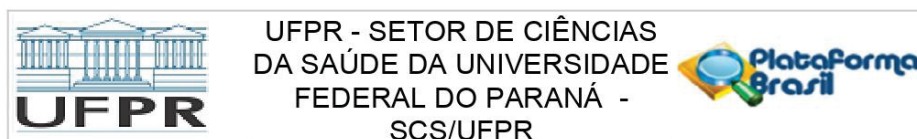
UF: PR

Município: CURITIBA

CEP: 80.060-240

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.835.398

Classificar os padrões dentários em situações de normalidade, de lesões cárie dentária e dos defeitos de desenvolvimento do esmalte (DDE) observados em fotografias intrabucais, por meio da utilização de metodologias de aprendizado profundo, buscando automatizar o processo de diagnóstico de alterações dentárias que acometem a saúde dental, permitindo assim, auxiliar o diagnóstico realizado pelos cirurgiões-dentistas.

- Específicos:

- Observar o desempenho de uma arquitetura de Rede Neural pre-treinada para a classificação de estruturas dentárias, cárie e DDE;
- Analisar o comportamento da técnica de transferência de aprendizagem em CNNs para classificar blocos de fotografias intrabucais;
- Analisar o desempenho das Convolutional Neural Network (CNN) aplicadas ao contexto de detecção e classificação de fotografias odontológicas;
- Treinar e testar alguns modelos recentes de CNNs para detectar e classificar automaticamente os padrões dentários de normalidade, cárie e DDE em fotografias intrabucais inteiras.

Por meio da presente emenda, os pesquisadores acrescentam os seguintes objetivos:

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

De acordo com o projeto inicialmente aprovado, tem-se que:

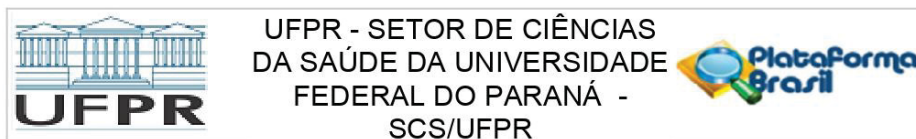
Riscos:

Os possíveis riscos envolvidos nessa pesquisa incluem constrangimento das crianças no momento do exame clínico e das fotografias. Estes riscos serão minimizados com a realização de apenas fotografias intrabucais, preservando a identidade da criança. Caso a criança sinta algum desconforto durante o exame clínico, o mesmo poderá ser interrompido a qualquer momento. Em uma possível divulgação dos resultados, os nomes serão transformados em códigos, preservando-se o anonimato. As fotografias permanecerão armazenadas sob responsabilidade do pesquisador responsável, que manterá o sigilo dos dados obtidos.

Benefícios:

Após a avaliação do desempenho da CNN na detecção de alterações dentárias, esta metodologia

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar	
Bairro: Alto da Glória	CEP: 80.060-240
UF: PR	Município: CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259	E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.835.398

podera auxiliar os profissionais no diagnostico de alteracoes dentarias, representando um importante avanco para area. Do mesmo modo, os participantes estarao contribuindo para este avanco cientifico, visto que somente a partir da realizacao destas fotografias sera possivel o treinamento das redes de aprendizado profundo com uma nova fonte de dados, e, a longo prazo, tambem desfrutarao da utilizacao de CNN na Odontologia, ja que implicara no aumento da assertividade diagnostica.

Quanto aos dentes extraídos, nao sera utilizado nenhuma fonte de informacoes ou dados sobre os seus doadores, prevalecendo, assim, o anonimato.

Com a presente emenda, os pesquisadores acrescentam o seguinte: "Quanto aos dentes extraídos, nao sera utilizado nenhuma fonte de informacoes ou dados sobre os seus doadores, prevalecendo, assim, o anonimato."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Segundo a pesquisadora, durante o ano de 2020 a equipe pretendia executar a presente pesquisa atraves da realizacao de fotografias intrabucais e exames clinicos odontologicos em escolares de 8 anos, da rede publica de ensino de Curitiba, como previsto no projeto aprovado, em 2019, pelo Comite de Etica e Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal do Parana. Contudo, devido a pandemia da COVID-19 tivemos que paralisar toda e qualquer pesquisa em ambito escolar e clinico, a fim de resguardar a saude das criancas e da propria equipe envolvida nas atividades.

Infelizmente, apos um ano, ainda nos vemos em um cenario de incertezas no qual nao sabemos quando a situacao ira se normalizar e poderemos retomar, de maneira segura, os grandes levantamentos epidemiologicos com grandes amostras de criancas. Nesse sentido, a equipe entendeu que, dada a importancia da realizacao do presente projeto, seria interessante realizar um estudo preliminar sem que houvesse a exposicao de criancas ou dos examinadores. Para isso, serao realizadas fotografias de dentes extraídos, obtidos em Biobancos de dentes humanos, a fim de antecipar o desenvolvimento o algoritmo para deteccao de padroes dentarios e testa-lo no diagnostico de lesoes de carie, defeitos de desenvolvimento do esmalte e hipomineralizacao de molares e incisivos.

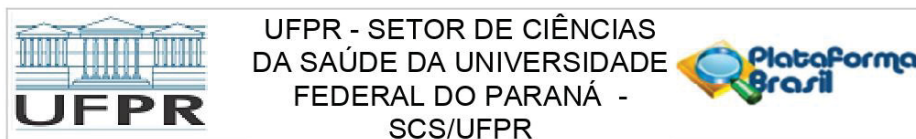
Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos foram apresentados.

Recomendações:

Ver conclusoes.

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar	
Bairro: Alto da Glória	CEP: 80.060-240
UF: PR	Município: CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259	E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.835.398

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

A pendência apontada no parecer anterior - necessidade de apresentação de carta da UEPG - foi atendida. Sou de parecer favorável à aprovação desta emenda.

Considerações Finais a critério do CEP:

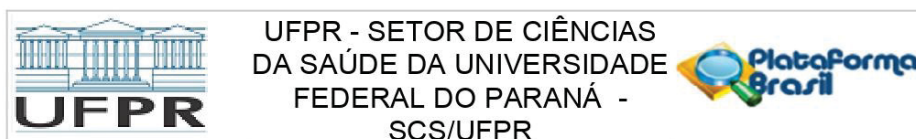
Solicitamos que sejam apresentados a este CEP, relatórios semestrais e final, sobre o andamento da pesquisa, bem como informações relativas às modificações do protocolo, cancelamento, encerramento e destino dos conhecimentos obtidos, através da Plataforma Brasil - no modo: NOTIFICAÇÃO. Demais alterações e prorrogação de prazo devem ser enviadas no modo EMENDA. Lembrando que o cronograma de execução da pesquisa deve ser atualizado no sistema Plataforma Brasil antes de enviar solicitação de prorrogação de prazo.

Emenda – ver modelo de carta em nossa página: www.cometica.ufpr.br (obrigatório envio).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1739788_E1.pdf	10/06/2021 14:50:18		Aceito
Outros	Carta_ao_CEP_pendencias.docx	10/06/2021 14:49:58	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	Declaracaoconcordancia_UEPG.pdf	07/06/2021 11:50:12	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_DeepLearning_2021_emenda.doc	03/05/2021 12:26:37	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biobanco	Declaracao_BDHUFPR_CEP.pdf	03/05/2021 12:22:27	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Declaração de concordância	CONCORDANCIA_BDH_UFPR_PROFaLuciana.pdf	03/05/2021 12:21:26	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	Carta_justificativa_emenda.docx	03/05/2021 12:19:45	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	Carta_ao_CEP_pendencias.pdf	13/11/2019 16:58:52	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de	TCLE_Corrigido.docx	13/11/2019 16:55:50	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar
Bairro: Alto da Glória **CEP:** 80.060-240
UF: PR **Município:** CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259 **E-mail:** cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.835.398

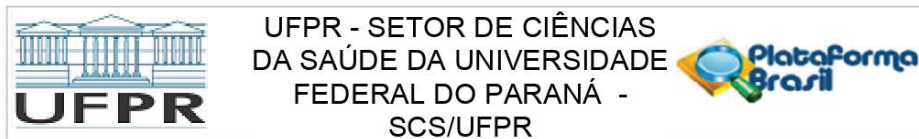
Ausência	TCLE_Corrigido.docx	13/11/2019 16:55:50	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_DeepLearning_CORRIGIDO_13_11_19.doc	13/11/2019 16:55:31	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	ServicoOdontopediatria.pdf	05/11/2019 00:53:43	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	ServicoInf.pdf	01/11/2019 16:54:26	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_declaracaodeciencia.pdf	29/10/2019 10:30:05	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_ausenciadecustos.pdf	24/10/2019 16:23:41	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	SMS_requirimento.pdf	24/10/2019 16:22:54	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	cartaaocerto.pdf	24/10/2019 16:22:19	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	analisedomerito_certo.pdf	24/10/2019 16:22:06	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE.docx	24/10/2019 14:54:13	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_certo.docx	24/10/2019 14:54:03	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracaodecompromisso.pdf	11/10/2019 23:41:54	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_DeepLearning_Final_07_10_19.doc	07/10/2019 16:05:02	LUCIANA REICHERT ASSUNÇÃO ZANON	Aceito
Outros	AutorizacaoSME.pdf	06/10/2019 18:36:29	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	extratoprojeto.pdf	04/10/2019 15:32:10	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Outros	CheckList.pdf	04/10/2019 15:29:42	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito
Folha de Rosto	Folhaderosto.pdf	04/10/2019 15:22:43	PAULA DRESCH PORTELLA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar
 Bairro: Alto da Glória CEP: 80.060-240
 UF: PR Município: CURITIBA
 Telefone: (41)3360-7259 E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.835.398

Não

CURITIBA, 08 de Julho de 2021

Assinado por:
IDA CRISTINA GUBERT
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar
Bairro: Alto da Glória **CEP:** 80.060-240
UF: PR **Município:** CURITIBA
Telefone: (41)3360-7259 **E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

ANEXO 3 – STANDARDS FOR REPORTING OF DIAGNOSTIC ACCURACY STUDIES (STARD)

Section & Topic	No	Item
TITLE OR ABSTRACT		
	1	Identification as a study of diagnostic accuracy using at least one measure of accuracy (such as sensitivity, specificity, predictive values, or AUC)
ABSTRACT		
	2	Structured summary of study design, methods, results, and conclusions (for specific guidance, see STARD for Abstracts)
INTRODUCTION		
	3	Scientific and clinical background, including the intended use and clinical role of the index test
	4	Study objectives and hypotheses
METHODS		
<i>Study design</i>	5	Whether data collection was planned before the index test and reference standard were performed (prospective study) or after (retrospective study)
<i>Participants</i>	6	Eligibility criteria
	7	On what basis potentially eligible participants were identified (such as symptoms, results from previous tests, inclusion in registry)
	8	Where and when potentially eligible participants were identified (setting, location and dates)
	9	Whether participants formed a consecutive, random or convenience series
<i>Test methods</i>	10a	Index test, in sufficient detail to allow replication
	10b	Reference standard, in sufficient detail to allow replication
	11	Rationale for choosing the reference standard (if alternatives exist)
	12a	Definition of and rationale for test positivity cut-offs or result categories of the index test, distinguishing pre-specified from exploratory
	12b	Definition of and rationale for test positivity cut-offs or result categories of the reference standard, distinguishing pre-specified from exploratory
	13a	Whether clinical information and reference standard results were available to the performers/readers of the index test
	13b	Whether clinical information and index test results were available to the assessors of the reference standard
<i>Analysis</i>	14	Methods for estimating or comparing measures of diagnostic accuracy
	15	How indeterminate index test or reference standard results were handled
	16	How missing data on the index test and reference standard were handled
	17	Any analyses of variability in diagnostic accuracy, distinguishing pre-specified from exploratory
	18	Intended sample size and how it was determined
RESULTS		
<i>Participants</i>	19	Flow of participants, using a diagram
	20	Baseline demographic and clinical characteristics of participants
	21a	Distribution of severity of disease in those with the target condition
	21b	Distribution of alternative diagnoses in those without the target condition
	22	Time interval and any clinical interventions between index test and reference standard
<i>Test results</i>	23	Cross tabulation of the index test results (or their distribution) by the results of the reference standard
	24	Estimates of diagnostic accuracy and their precision (such as 95% confidence intervals)
	25	Any adverse events from performing the index test or the reference standard
DISCUSSION		
	26	Study limitations, including sources of potential bias, statistical uncertainty, and generalisability
	27	Implications for practice, including the intended use and clinical role of the index test
OTHER INFORMATION		
	28	Registration number and name of registry
	29	Where the full study protocol can be accessed
	30	Sources of funding and other support; role of funders



ANEXO 4 - CHECKLIST FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL IMAGING (CLAIM)

Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging

Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM)		
Section/Topic	No.	Item
TITLE or ABSTRACT	1	Identification as a study of AI methodology, specifying the category of technology used (eg, deep learning)
ABSTRACT	2	Structured summary of study design, methods, results, and conclusions
INTRODUCTION	3	Scientific and clinical background, including the intended use and clinical role of the AI approach
	4	Study objectives and hypotheses
METHODS		
Study Design	5	Prospective or retrospective study
	6	Study goal, such as model creation, exploratory study, feasibility study, noninferiority trial
Data	7	Data sources
	8	Eligibility criteria: how, where, and when potentially eligible participants or studies were identified (eg, symptoms, results from previous tests, inclusion in registry, patient-care setting, location, dates)
	9	Data preprocessing steps
	10	Selection of data subsets, if applicable
	11	Definitions of data elements, with references to common data elements
	12	De-identification methods
	13	How missing data were handled
Ground Truth	14	Definition of ground truth reference standard, in sufficient detail to allow replication
	15	Rationale for choosing the reference standard (if alternatives exist)
	16	Source of ground truth annotations; qualifications and preparation of annotators
	17	Annotation tools
	18	Measurement of inter- and intrarater variability; methods to mitigate variability and/or resolve discrepancies
Data Partitions	19	Intended sample size and how it was determined
	20	How data were assigned to partitions; specify proportions
	21	Level at which partitions are disjoint (eg, image, study, patient, institution)
Model	22	Detailed description of model, including inputs, outputs, all intermediate layers and connections
	23	Software libraries, frameworks, and packages
	24	Initialization of model parameters (eg, randomization, transfer learning)
Training	25	Details of training approach, including data augmentation, hyperparameters, number of models trained
	26	Method of selecting the final model
	27	Ensembling techniques, if applicable
Evaluation	28	Metrics of model performance
	29	Statistical measures of significance and uncertainty (eg, confidence intervals)
	30	Robustness or sensitivity analysis
	31	Methods for explainability or interpretability (eg, saliency maps) and how they were validated
	32	Validation or testing on external data
RESULTS		
Data	33	Flow of participants or cases, using a diagram to indicate inclusion and exclusion
	34	Demographic and clinical characteristics of cases in each partition
Model performance	35	Performance metrics for optimal model(s) on all data partitions
	36	Estimates of diagnostic accuracy and their precision (such as 95% confidence intervals)
	37	Failure analysis of incorrectly classified cases
DISCUSSION		
	38	Study limitations, including potential bias, statistical uncertainty, and generalizability
	39	Implications for practice, including the intended use and/or clinical role
OTHER INFORMATION		
	40	Registration number and name of registry
	41	Where the full study protocol can be accessed
	42	Sources of funding and other support; role of funders

ANEXO 5 - DECLARAÇÃO DE CONCORDÂNCIA DE SERVIÇOS ENVOLVIDOS BDH - UFPR



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE - CURSO DE ODONTOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA RESTAURADORA
Avenida Prefeito Lothário Meissner, 632 - tel: 3360-4042
CEP: 80.210-170 - Jardim Botânico - Curitiba - Paraná - Brasil

CONCORDÂNCIA DOS SERVIÇOS ENVOLVIDOS

Curitiba, 21 de abril de 2021

Senhor (a) Coordenador (a),

Declaro como coordenadora do BIOBANCO DE DENTES HUMANOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (BDH-UFPR), que estou de acordo com a condução do projeto de pesquisa: **RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PADRÕES DENTÁRIOS UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO**, sob a responsabilidade da pesquisadora responsável Profa. Dra. Luciana Reichert Assunção Zanon da Universidade Federal do Paraná, na orientação da tese de doutorado de Paula Dresch Portella, nas nossas dependências. O presente projeto de pesquisa necessitará de 22 dentes decíduos e 2236 dentes permanentes posteriores da coleção de dentes do BDH-UFPR. O presente projeto será realizado tão logo o projeto seja aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Estamos cientes que as amostras da pesquisa serão os dentes do BDH da UFPR, com o devido termo de consentimento livre e esclarecido arquivado no BDH-UFPR, bem como de que o presente trabalho deve seguir a Resolução 466/2012 (CNS) e complementares.

Atenciosamente,

A handwritten signature in black ink, reading 'Yasmine Mendes Pupo', is written over a horizontal line.

Profa. Dra. Yasmine Mendes Pupo
Coordenadora do Biobanco de Dentes Humanos da UFPR
Professora Adjunto do Departamento de Odontologia Restauradora

ANEXO 6 – DECLARAÇÃO DE CONCORDÂNCIA DE SERVIÇOS ENVOLVIDOS BDH – UEPG



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
CURSO DE ODONTOLOGIA

Banco de Dentes Humanos



Concordância de Coparticipação

Curitiba, 22 de abril de 2021.

Declaramos que nós, do(a) Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) estamos de acordo com a condução do projeto de pesquisa “RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PADRÕES DENTÁRIOS UTILIZANDO APRENDIZADO PROFUNDO” sob a responsabilidade de Luciana Reichert Assunção Zanon, nas nossas dependências do Banco de dentes humanos (BDH-UEPG), tão logo o projeto seja aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Setor de Ciências da Saúde da UFPR, até o seu final em [data final].

Estamos cientes que serão utilizados dentes humanos extraídos, bem como de que o trabalho proposto deve seguir a Resolução 466/2012 (CNS) e complementares.

Da mesma forma, estamos cientes que os pesquisadores somente poderão iniciar a pesquisa pretendida após encaminharem, a esta Instituição, uma via do parecer de aprovação do estudo exarado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Setor de Ciências da Saúde da UFPR.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Stella Kossatz Pereira
Coordenadora do BDH-UEPG

**ANEXO 7 – CRITÉRIO DO ÍNDICE DO SISTEMA INTERNACIONAL DE
DETECÇÃO E AVALIAÇÃO DE CÁRIE (ICDAS)**

Primeiro código (condição restauradora)

Código	Descrição
0	Superfície não selada e não restaurada
1	Selante parcial
2	Selante completo
3	Restauração com cor semelhante ao dente
4	Restauração com amálgama
5	Coroa de aço
6	Coroa ou faceta de porcelana, ouro ou metalocerâmica
7	Restauração fraturada ou perdido
8	Restauração provisória

Segundo código (severidade da cárie)

Código	Descrição
0	Nenhuma ou sutil alteração na translucidez do esmalte após secagem de 5s
1	Opacidade dificilmente visível na superfície úmida, mas notável após secagem
2	Opacidade visível sem secagem
3	Cavitação localizada em esmalte opaco ou pigmentado, sem dentina visível
4	Sombreamento da dentina subjacente, com ou sem rompimento de esmalte
5	Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente
6	Cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente, envolvendo mais da metade da superfície

Nota: Segundo Ismail et al., 2007.

CRITÉRIOS PARA A SUBMISSÃO DA REVISTA “JOURNAL OF DENTISTRY”:

Types of paper

Contributions falling into the following categories will be considered for publication:

- Original Research Reports: maximum length 6 printed pages approximately 20 word processed pages, including illustrations and tables.
- Review articles: maximum length 10 printed pages, approximately 33 word processed pages, including illustrations and tables.
- Short communication for rapid publication: maximum length 2 printed pages, approximately 7 word processed pages, including illustrations.
- Digital Dentistry Section: Full Length Articles: maximum length 6 printed pages approximately 20 word processed pages, including illustrations and tables.
- Digital Dentistry Section: Review Articles: maximum length 10 printed pages, approximately 33 word processed pages, including illustrations and tables.
- Digital Dentistry Section: Short Communications: maximum length 2 printed pages, approximately 7 word processed pages, including illustrations.

Please note the Journal of Dentistry does not accept Case Reports and these will be removed from the system if submitted.

Authorship

Only those persons who have made a significant contribution to the manuscript submitted should be listed as authors. The Editor-in-Chief expects that a manuscript should normally have no more than 6 authors, unless a case is made by the corresponding author within the article cover letter to include other authors. All of the named authors should have been involved in the work leading to the publication of the paper and should have read the paper before it is submitted for publication.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print *Graphical Abstracts / Highlights files* (where applicable)
- Supplemental files* (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa

- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

Ethics in publishing

Please see our information on [Ethics in publishing](#).

Declaration of competing interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of competing interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. **Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.** If there are no interests to declare, please choose the first option in the template. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see ['Multiple, redundant or concurrent publication'](#) for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify compliance, your article may be checked by [Crossref Similarity Check](#) and other originality or duplicate checking software.

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. When coding terminology is used, we recommend to avoid offensive or exclusionary terms such as "master", "slave", "blacklist" and "whitelist". We suggest using alternatives that are more appropriate and (self-) explanatory such as "primary", "secondary", "blocklist" and "allowlist". These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRediT role(s) following.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Clinical trial results

In line with the position of the International Committee of Medical Journal Editors, the journal will not consider results posted in the same clinical trials registry in which primary registration resides to be prior publication if the results posted are presented in the form of a brief structured (less than 500 words) abstract or table. However, divulging results in other circumstances (e.g., investors' meetings) is discouraged and may jeopardise consideration of the manuscript. Authors should fully disclose all posting in registries of results of the same or closely related work.

Suggesting reviewers

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential reviewers. You should not suggest reviewers who are colleagues, or who have co-authored or collaborated with you during the last three years. Editors do not invite reviewers who have potential competing interests with the authors. Further, in order to provide a broad and balanced assessment of the work, and ensure scientific rigor, please suggest diverse candidate reviewers who are located in different countries/regions from the author group. Also consider other diversity attributes e.g. gender, race and ethnicity, career stage, etc. Finally, you should not include existing members of the journal's editorial team, of whom the journal are already aware.

Note: the editor decides whether or not to invite your suggested reviewers.

Queries

For questions about the editorial process (including the status of manuscripts under review) or for technical support on submissions, please visit our [Support Center](#).

Peer review

This journal operates a double anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups. [More information on types of peer review.](#)

Double anonymized review

This journal uses double anonymized review, which means the identities of the authors are concealed from the reviewers, and vice versa. [More information](#) is available on our website. To facilitate this, please include the following separately: *Title page (with author details)*: This should include the title, authors' names, affiliations, acknowledgements and any Declaration of Interest statement, and a complete address for the corresponding author including an e-mail address. *Anonymized manuscript (no author details)*: The main body of the paper (including the references, figures, tables and any acknowledgements) should not include any identifying information, such as the authors' names or affiliations.

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Introduction

The introduction must be presented in a structured format, covering the following subjects, although not under subheadings: succinct statements of the issue in question, and the essence of existing knowledge and understanding pertinent to the issue. In keeping with the house style of Journal of Dentistry, the final paragraph of the introduction should clearly state the aims and/or objective of the work being reported. Prospective authors may find the following form of words to be helpful: "The aim of this paper is to ..." Where appropriate, a hypothesis (e.g. null or a priori) should then be stated.

Essential title page information

- ***Title.*** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- ***Author names and affiliations.*** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your

name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

• **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

• **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

The **title page** should contain the following information:

- Title of paper
- Short title
- Name(s), job titles and address(es) of author(s) (no academic degrees necessary)
- Name, address, telephone, fax and e-mail of the corresponding author
- Up to 6 keywords

Spelling: International English.

Authors are urged to write as concisely as possible.

The house style of Journal of Dentistry requires that articles should be arranged in the following order: Title, Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusions, Acknowledgements, References, Tables, Figures. A **cover letter** should accompany the new manuscript submission, within which the authors should indicate the significance of the work being submitted in a statement no more than 100 words.

Abstract: should not exceed 250 words and should be presented under the following subheadings: Objectives, Methods; Results; Conclusions; Clinical Significance (For Reviews: Objectives; Data; Sources; Study selection; Conclusions; Clinical Significance). A 50 word 'Clinical Significance' statement is in addition to the 250 word Abstract and should appear at the end of the Abstract advising readers of the clinical importance and relevance of their work under the Abstract subheading "Clinical Significance". These subheadings should appear in the text of the abstract. Please repeat the title of the article at the top of the abstract page.

Introduction: must be presented in a structured format, covering the following subjects, although not under subheadings: succinct statements of the issue in question, and the essence of existing knowledge and understanding pertinent to the issue. In keeping with the house style of Journal of Dentistry, the final paragraph of the introduction should clearly state the aims and/or objective of the work being reported. Prospective authors may find the following form of words to be helpful: "The aim of this paper is to ..." Where appropriate, a hypothesis (e.g. null or a priori) should then be stated.

Keywords: up to 6 keywords should be supplied.

Abbreviations and acronyms: terms and names to be referred to in the form of abbreviations or acronyms must be given in full when first mentioned.

Units: SI units should be used throughout. If non-SI units must be quoted, the SI equivalent must immediately follow in parentheses.

The complete names of individual teeth must be given in the text. In tables and legends for illustrations individual teeth should be identified using the FDI two-digit system.

Statistics

Statistical methods should be described with enough detail to enable a knowledgeable reader with access to the original data to verify the reported results. When possible, findings should be quantified and appropriate measures of error or uncertainty (such as confidence intervals) given. Details about eligibility criteria for subjects, randomization and the number of observations should be included. The computer software and the statistical method(s) used should be specified with references to standard works when possible (with pages specified). See http://www.icmje.org/manuscript_1prepare.html for more detailed guidelines.

Illustrations: should be submitted electronically using appropriate commercial software. Prospective authors should follow the relevant guidelines (available from: <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>). In addition, it is noted that while authors sometimes need to manipulate images for clarity, manipulation for purposes of deception or fraud will be seen as scientific ethical abuse and will be dealt with accordingly. For graphical images, journals published by Elsevier apply the following policy: no specific feature within an image may be enhanced, obscured, moved, removed, or introduced. Adjustments of brightness, contrast, or color balance are acceptable if and as long as they do not obscure or eliminate any information present in the original. Nonlinear adjustments (e.g. changes to gamma settings) must be disclosed in the figure legend.

Highlights

Highlights are optional yet highly encouraged for this journal, as they increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

The Abstract should not exceed 250 words and should be presented under the following subheadings: Objectives, Methods; Results; Conclusions. A 50 word 'Clinical Significance' statement should appear at the end of the abstract advising readers of the clinical importance and relevance of their work. These subheadings should appear in the text of the abstract. Please repeat the title of the article at the top of the abstract page.

For Review Articles the abstract should be presented under the following subheadings: Objectives; Data; Sources; Study selection; Conclusions.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or

proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Keywords

Provide a maximum of 6 keywords, using British spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, it is recommended to include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Artwork

Image manipulation

Whilst it is accepted that authors sometimes need to manipulate images for clarity, manipulation for purposes of deception or fraud will be seen as scientific ethical abuse and will be dealt with accordingly. For graphical images, this journal is applying the following policy: no specific feature within an image may be enhanced, obscured, moved, removed, or introduced. Adjustments of brightness, contrast, or color balance are acceptable if and as long as they do not obscure or eliminate any information present in the original. Nonlinear adjustments (e.g. changes to gamma settings) must be disclosed in the figure legend.

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.
- Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format. Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results

and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, Crossref and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

Preprint references

Where a preprint has subsequently become available as a peer-reviewed publication, the formal publication should be used as the reference. If there are preprints that are central to your work or that cover crucial developments in the topic, but are not yet formally published, these may be referenced. Preprints should be clearly marked as such, for example by including the word preprint, or the name of the preprint server, as part of the reference. The preprint DOI should also be provided.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that

support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software](#).

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given. Example: '..... as demonstrated [3,6]. Barnaby and Jones [8] obtained a different result'

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, The art of writing a scientific article, *J. Sci. Commun.* 163 (2010) 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

[2] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon.* 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

[3] W. Strunk Jr., E.B. White, *The Elements of Style*, fourth ed., Longman, New York, 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[4] G.R. Mettam, L.B. Adams, How to prepare an electronic version of your article, in: B.S. Jones, R.Z. Smith (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*, E-Publishing Inc., New York, 2009, pp. 281–304.

Reference to a website:

[5] Cancer Research UK, Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/>, 2003 (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] [6] M. Oguro, S. Imahiro, S. Saito, T. Nakashizuka, Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions, *Mendeley Data*, v1, 2015. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference to software:

[7] E. Coon, M. Berndt, A. Jan, D. Svyatsky, A. Atchley, E. Kikinzon, D. Harp, G. Manzini, E. Shelef, K. Lipnikov, R. Garimella, C. Xu, D. Moulton, S. Karra, S. Painter, E. Jafarov, S. Molins, *Advanced Terrestrial Simulator (ATS) v0.88 (Version 0.88)*, Zenodo, March 25, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-

mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

The decision of the Editor-in-Chief is final in relation to all manuscript submissions.