



**CONFORME SOLICITAÇÃO DO AUTOR, ESTA  
PRODUÇÃO INTELECTUAL POSSUI RESTRIÇÃO  
DE ACESSO**

**CAXIAS DO SUL  
2026**

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DE CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS E**  
**TECNOLOGIAS**

**RESINA ODONTOLÓGICA PARA IMPRESSÃO 3D COM ÓXIDO DE GRAFENO**  
**FLUORADO E FLUORETO DE SÓDIO: PROPRIEDADES TÉRMICAS,**  
**MECÂNICAS E POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE ÍONS FLUORETO**

**Vanessa Bueno Pereira**

**Caxias do Sul**

**2026**

**Vanessa Bueno Pereira**

**RESINA ODONTOLÓGICA PARA IMPRESSÃO 3D COM ÓXIDO DE GRAFENO  
FLUORADO E FLUORETO DE SÓDIO: PROPRIEDADES TÉRMICAS,  
MECÂNICAS E POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE ÍONS FLUORETO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientado por Dr. Ademir José Zattera e co-orientado por Dra. Lílian Vanessa Rossa Beltrami.

**Caxias do Sul**

**2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

P436r Pereira, Vanessa Bueno

Resina odontológica para impressão 3D com óxido de grafeno fluorado e fluoreto de sódio [recurso eletrônico] : propriedades térmicas, mecânicas e potencial de liberação de íons fluoreto / Vanessa Bueno Pereira. – 2026.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, 2026.

Orientação: Ademir José Zattera.

Coorientação: Lílian Vanessa Rossa Beltrami.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Placas oclusais. 2. Impressão em três dimensões. 3. Bruxismo. 4. Materiais biomédicos. 5. Odontologia. I. Zattera, Ademir José, orient. II. Beltrami, Lílian Vanessa Rossa, coorient. III. Título.

CDU 2. ed.: 616.314-76

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Carolina Machado Quadros - CRB 10/2236

**Vanessa Bueno Pereira**

**RESINA ODONTOLÓGICA PARA IMPRESSÃO 3D COM ÓXIDO DE GRAFENO  
FLUORADO E FLUORETO DE SÓDIO: PROPRIEDADES TÉRMICAS,  
MECÂNICAS E POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE ÍONS FLUORETO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientado por Dr. Ademir José Zattera e co-orientado por Dra. Lílian Vanessa Rossa Beltrami.

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05 DE MARÇO DE 2026.**

**Orientador:**

Prof. Dr. Ademir José Zattera  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

**Co-orientadora:**

Prof. Dra. Lílian Vanessa Rossa Beltrami  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

**Banca Examinadora:**

Prof. Dra. Camila Baldasso  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Prof. Dra. Daiane Romanzini  
Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS)

Prof. Dra. Daniela Becker  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

## AGRADECIMENTOS

Na vida, absolutamente nada faz-se sozinho. Aqui direciono minha gratidão a todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu companheiro, Lucas Rafael Tuchtenhagen, que me apoiou de forma incondicional desde a decisão de ingressar no mestrado até a revisão final deste documento.

Agradeço aos meus pais, Sandra Maria Bueno Pereira e Ednilso Julio Pereira, e irmãos, Gustavo Bueno Pereira e Vinícius Bueno Pereira, pelo incentivo, apoio e pelos domingos em família.

Agradeço à minha coorientadora, Lílian Vanessa Rossa Beltrami e amiga por todo o apoio, receptividade, delicadeza e resolutividade ao longo deste trajeto. Você foi a responsável por eu me apaixonar pela Engenharia ainda na iniciação científica. Obrigada por confiar em mim. Você é preciosa.

Agradeço à coordenadora do programa, Camila Baldasso pela competência, acolhimento, força e presença. Você me inspira.

Agradeço ao meu orientador, Ademir José Zattera por abrir tantas portas, confiar plenamente nas minhas ideias e no meu trabalho e por fornecer todas as condições para a concretização deste estudo.

Agradeço aos amigos de longa data Iádini Guerra Tondello e Henrique Dutra Magnabosco, que tornaram esta jornada mais leve desde a graduação.

Agradeço à minha amiga Daniela Maria Cecatto pelos cafés e pela companhia. Uma engenheira incrível e de competência inspiradora.

Agradeço à minha amiga Marielen Longhi, presente como profissional e amiga. Obrigada pelos cafés, pela escuta, pelos conselhos, pela competência, pela confiança e pelos contatos profissionais, além de compartilhar comigo a trajetória mais linda da tua vida.

Agradeço à minha amiga Larissa Rodrigues Martins pelos cafés, risadas e dicas. Uma pessoa admirável e digna de todas as coisas boas deste mundo.

Agradeço ao LAMAT, ao LCMIC e ao LAPAM pelas análises realizadas. Em especial às técnicas Géssica Mabilia Ramos e Caroline Ribeiro Corrêa, por todas as risadas, pelo acompanhamento e pelas análises conduzidas. Vocês são incríveis.

Agradeço à Natasha Maurmann e Patricia Helena Lucas Pranke, pela receptividade e por realizar os experimentos biológicos deste trabalho com tanta destreza e competência. À UFRGS, pelo material, pela estrutura e pela grande parceria.

Agradeço à empresa Esterelizare por prontamente preparar as amostras para os ensaios biológicos.

Agradeço ao meu professor de graduação, Celso Ricardo Adami, por me ajudar em momentos caóticos com a impressora 3D e por estar sempre de portas abertas para ajudar.

E, por fim, agradeço a mim mesma, por me permitir viver este desafio. Valeu a pena.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
3.1 BRUXISMO E DISFUNÇÕES TEMPOROMANDIBULARES .....	23
3.2 PLACAS OCLUSAIS .....	26
3.3 BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS .....	29
3.4 A IMPRESSÃO 3D NA ODONTOLOGIA.....	31
3.5 RESINAS ACRÍLICAS FOTOCURÁVEIS .....	37
3.6 ÓXIDO DE GRAFENO .....	39
3.7 FUNCIONALIZAÇÃO HIDROTÉRMICA DO ÓXIDO DE GRAFENO UTILIZANDO ÁCIDO FLUORÍDRICO.....	43
3.8 CÁRIE DENTAL E O FLUORETO DE SÓDIO .....	47
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
4.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS.....	54
4.1.1 Processo de secagem do Óxido de Grafeno .....	54
4.1.2 Processo de Fluoração do OG .....	55
4.1.3 Obtenção dos nanocompósitos e compósitos .....	56
4.1.4 Impressão 3D das amostras .....	58
4.2 CARACTERIZAÇÕES E ANÁLISES REALIZADAS .....	60
4.2.1 Microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo (MEV-FEG) e Espectroscopia de Dispersão em Energia (EDS) .....	60
4.2.2 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	60
4.2.3 Análise Raman .....	61
4.2.4 Análise de Termogravimetria (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG).....	61
4.2.5 Distância entre as nanofolhas de OG.....	61
4.2.6 Dimensões das partículas de NaF.....	62
4.2.7 Análises Mecânicas .....	62

4.2.8 Análises Térmicas .....	63
4.2.9 Avaliação da Liberação de Fluoreto .....	63
4.2.10 Análise de Sorção e Solubilidade.....	65
4.2.11 Estatística dos Dados .....	66
4.2.12 Análises <i>in vitro</i> .....	66
4.2.13 Análise Estatística das análises <i>in vitro</i> .....	69
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
5.1 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS .....	71
5.1.1 Caracterização do Óxido de Grafeno seco por diferentes métodos .....	71
5.1.2 Óxido de Grafeno Fluorado (OGF) .....	81
5.1.3 Fluoreto de Sódio (NaF).....	89
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS APÓS A IMPRESSÃO 3D .....	94
5.2.1 Microscopia Eletronica de Varredura de Emissão de Campo (MEV-FEG).....	94
5.2.2 Análises Mecânicas .....	96
5.2.3 Análises Térmicas .....	104
5.3 ANÁLISE DA LIBERAÇÃO DE FLUORETO .....	112
5.4 ANÁLISE DE SORÇÃO E SOLUBILIDADE.....	115
5.5 ANÁLISES <i>in vitro</i> .....	118
5.5.1 Avaliação da Adesão Celular por DAPI (4',6-diamidino-2-phenylindole) .....	118
5.5.2 Análise Morfológica por Microscopia Ótica .....	120
5.5.3 Avaliação da citotoxicidade e viabilidade celular .....	121
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturas anatômicas e eventos relacionados ao bruxismo .....	24
Figura 2 - Placa oclusal estabilizadora .....	26
Figura 3 - a) Placa com perfurações, amarelamento e trincas após o uso; b) Placa oclusal nova .....	29
Figura 4 - Tecnologias de impressão 3D utilizadas em odontologia.....	32
Figura 5- Representação esquemática dos ângulos de impressão .....	35
Figura 6 - Representação esquemática da estrutura do Óxido de Grafeno.....	40
Figura 7- Representação esquemática da estrutura do OG funcionalizado com flúor .....	44
Figura 8 - Anatomia do Dente .....	48
Figura 9 - Resumo dos fatores e processos envolvidos no desenvolvimento da lesão cariosa	49
Figura 10 - Fluxograma de seleção dos estudos (PRISMA) .....	51
Figura 11 - Processo de secagem do OG .....	54
Figura 12 - Processo de montagem do Reator Hidrotérmico .....	55
Figura 13 - Processo de fluoração das nanocargas de OG .....	57
Figura 14 - Processo de impressão 3D das amostras.....	58
Figura 15 - Avaliação qualitativa de íons fluoreto por ensaio colorimétrico .....	64
Figura 16 - MEV-FEG das nanocargas de OG-Estufa e OG-Liofiliza.....	72
Figura 17 - Comparação da distância entre camadas (nm) das amostras de OG-Estufa e OG-Liofilizado .....	73
Figura 18 - Mapas e análise EDS das nanocargas OG-Estufa e OG-Liofilizado .....	74
Figura 19 - Análise Raman das nanocargas OG-Estufa e OG-Liofilizado.....	76
Figura 20 - Análise FTIR das nanocargas OG-Estufa e OG-Liofilizado .....	78
Figura 21 - Termogramas obtidos por a) TGA e DTG das nanocargas b) OG-Estufa e c) OG-Liofilizado .....	79
Figura 22 - MEV-FEG das amostras de OG e OGF .....	82
Figura 23 - Análise Raman das nanocargas de OG e OGF .....	83
Figura 24 - EDS das amostras de OG e OGF .....	85
Figura 25 - Análise FTIR das amostras de OG e OGF.....	86
Figura 26 - Termogramas obtidos por TGA das amostras antes e após o tratamento.....	87
Figura 27 - Aspecto macroscópico e MEV-FEG das partículas de NaF .....	89
Figura 28 - <i>Boxplot</i> das medições obtidas para amostras de NaF antes e após moagem .....	90
Figura 29 - Espectro e mapas de cores obtidos por EDS das partículas de NaF.....	91

Figura 30 - Análise Raman das partículas de NaF .....	92
Figura 31 - Análise TGA das partículas de NaF .....	93
Figura 32 - Análise DTG das partículas de NaF .....	94
Figura 33 - MEV-FEG da área de fratura das amostras .....	95
Figura 34 - Análise de Dureza <i>Shore D</i> .....	97
Figura 35 - Análise de perda de massa por abrasão .....	99
Figura 36 - Resistência à compressão.....	102
Figura 37 - Módulo de elasticidade à compressão .....	103
Figura 38 - Módulo de Armazenamento .....	106
Figura 39 - Tan Delta.....	106
Figura 40 - Módulo de Perda.....	107
Figura 41 - Análise Termomecânica .....	109
Figura 42 - Análise de Termogravimetria (TGA) .....	111
Figura 43 - Liberação de F <sup>-</sup> pelas amostras .....	113
Figura 44 - Fotomicrografias dos núcleos celulares marcados com DAPI .....	119
Figura 45 - Microscopia Ótica das células MRC-5 .....	120
Figura 46 - Ensaios de viabilidade (MTT) indireto.....	122
Figura 47 - Ensaios de viabilidade (MTT) direto .....	124
Figura 48 - Análise de Fluorescência (FDA/IP).....	126
Figura 49 - Ensaios de citotoxicidade (liberação de lactato desidrogenase- LDH).....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da saliva artificial .....	53
Tabela 2 - Identificação e dados da composição amostral .....	57
Tabela 3 - Parâmetros de impressão das amostras .....	59
Tabela 4 - Estatística das medições realizadas .....	71
Tabela 5 - Atribuição das bandas de FTIR das amostras de OG .....	77
Tabela 6 - Dados referentes às análises de TGA e DTG para as cargas de OG .....	80
Tabela 7 - Atribuição das bandas de FTIR das amostras de OGF .....	86
Tabela 8 - Dados referentes às análises de TGA e DTG para as cargas fluoradas .....	88
Tabela 9 - Estatística das medições dos tamanhos das partículas do NaF .....	90
Tabela 10 - Dados referentes ao ensaio de DMA .....	107
Tabela 11 - Expansão dimensional relativa (%) das amostras obtidas por TMA .....	109
Tabela 12 - Temperaturas de máxima taxa de degradação ( $T_{máx1}$ e $T_{máx2}$ ) .....	111
Tabela 13 - Dados referentes às análises de TGA e DTG para os compósitos .....	112
Tabela 14 - Íons fluoreto liberados das amostras ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) .....	113
Tabela 15 - Simulação de liberação de íons fluoreto .....	114
Tabela 16 - Dados de Sorção e Solubilidade .....	116

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros de Impressão.....	33
Quadro 2 - Síntese dos parâmetros de funcionalização do OG encontrados na literatura.....	45
Quadro 3 - Estudos sobre a incorporação de NaF em resinas acrílicas.....	52
Quadro 4 - Materiais utilizados na pesquisa.....	53

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

3D	<i>Three-dimensional</i> (tridimensional)
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> (Análise de Variância)
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATM	Articulação Temporomandibular
BisEMA	Bisfenol A etoxilado dimetacrilato
BisGMA	Bisfenol A glicidil dimetacrilato
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho assistido por computador)
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i> (Manufatura assistida por computador)
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DAM	Dispositivos de Avanço Mandibular
DAPI	4',6-diamidino-2-fenilindol
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
DMA	<i>Dynamic Mechanical Analysis</i> (Análise dinâmico-mecânica)
DMEM	<i>Dulbecco's Modified Eagle Medium</i>
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DTG	<i>Derivative Thermogravimetry</i> (Termogravimetria derivada)
DTM	Disfunção temporomandibular
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (Espectroscopia por Dispersão de Energia)
ETO	Óxido de etileno
FEG	<i>Field Emission Gun</i> (canhão de emissão de campo)
FHD	<i>Full High Definition</i> (Alta Definição Completa)
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier)
GABA	Ácido gama-aminobutírico
HEMA	2-hidroxietil metacrilato
HF	Ácido fluorídrico
IIQ	Intervalo interquartil
IP	Iodeto de propídio
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LABAT	Laboratório de Baterias
LAMAT	Laboratório de Materiais

LAPAM	Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LCMIC	Laboratório Central de Microscopia
LDH	Lactato desidrogenase
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMA	Metil metacrilato
MRC-5	<i>Medical Research Council cell strain 5</i> (fibroblastos pulmonares fetais humanos)
MTT	Ensaio de viabilidade celular por brometo de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OG	Óxido de grafeno
OGF	Óxido de grafeno fluorado
PBS	<i>Phosphate Buffered Saline</i> (solução salina tamponada com fosfato)
PE	Polietileno
PEO	Óxido de polietileno
PFA	Paraformaldeído
PLA	Ácido polilático
PMMA	Polimetil metacrilato
PP	Polipropileno
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Policloreto de vinila
SLA	<i>Stereolithography</i>
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (Métodos padrão para o exame de água e esgoto)
SNC	Sistema nervoso central
SNP	Sistema nervoso periférico
TEGDMA	Trietilenoglicol dimetacrilato
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i> (Análise termogravimétrica)
TMA	<i>Thermomechanical Analysis</i> (Análise termomecânica)
TPO	<i>Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine oxide</i>
UCS	Universidade de Caxias do Sul

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UDMA	Uretano dimetacrilato
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
°	grau
°C	grau Celsius
$\Delta$	variação
K	kelvin
L	litro
N	Newton
Pa·s	pascal segundo
U	unidade arbitrária
V	volt
W	watt
bar	bar
cm	centímetro
cm <sup>2</sup>	centímetro quadrado
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
g	grama
h	hora
Hz	hertz
kcal	quilocaloria
kV	quilovolt
kX	aumento de imagem (microscopia eletrônica)
m	metro
mg	miligrama
min	minuto
mL	mililitro
mol	mol
nm	nanômetro
ppm	partes por milhão
rpm	rotações por minuto
s	segundo
$\mu$ g	micrograma
$\mu$ L	microlitro

$\mu\text{m}$  micrômetro

$\pi$  pi

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar compósitos e nanocompósitos baseados em uma resina acrílica líquida fotocurável para impressão 3D (RES) destinada à confecção de placas oclusais, dispositivos inertes, utilizados no manejo do bruxismo e das disfunções temporomandibulares (DTM). Tais resinas foram modificadas com óxido de grafeno (OG), óxido de grafeno funcionalizado (OGF) com ácido fluorídrico (HF), com posterior incorporação de fluoreto de sódio (NaF). As análises de caracterização confirmaram a efetiva modificação química das nanocargas sendo a amostra tratada com 7,5 mL de HF (OGF\_7,5) selecionada para a formação dos nanocompósitos por apresentar o melhor comportamento nos testes conduzidos. As cargas de OG, OGF e NaF foram incorporadas à resina por sonicação, e as amostras foram obtidas com sucesso via impressão 3D. Quanto às análises mecânicas, o ensaio de dureza *Shore D* revelou a manutenção dessa propriedade após a adição das cargas ( $p > 0,05$ ). Observou-se, ainda, maior resistência ao desgaste em todos os nanocompósitos ( $p < 0,001$ ), sendo os menores valores atribuídos às amostras RES+OG (33%), RES+OG+NaF (37,9%), RES+NaF (41,7%) e RES+OGF (42,7%), enquanto a RES apresentou 52,4%. A adição das cargas não impactou a resistência à compressão das amostras ( $p < 0,05$ ), entretanto reduziu o módulo de elasticidade à compressão delas em relação à RES. Nas análises térmicas, observou-se maior resiliência e flexibilidade das amostras contendo as nanocargas, com redução dos valores do módulo de armazenamento, do módulo de perda e da temperatura de transição vítrea dessas amostras (RES=  $94,967\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,404\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+OG= $80,667\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,704\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+OGF= $80,3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,229\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+NaF= $80,033\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,003\text{ }^{\circ}\text{C}$  e RES+OG+NaF=  $80,033\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,003\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A análise termomecânica revelou a manutenção da estabilidade dimensional das amostras após a adição das cargas na faixa de temperatura de uso clínico ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), com o menor valor observado para a amostra RES+OGF ( $0,08704\% \pm 0,01498\%$ ) em relação à RES ( $0,10219\% \pm 0,03337\%$ ). O comportamento de degradação térmica verificado na análise de TGA demonstrou que a adição das cargas não alterou essa propriedade de forma significativa. A avaliação da liberação de íons fluoreto em saliva artificial indicou a presença desses íons após todos os períodos avaliados (24 h, 48 h, 7 d, 14 d e 30 d), embora a concentração de cargas fluoradas utilizada (0,05%) não tenha sido suficiente para atingir quantitativamente o efeito anticárie desejado, conforme descrito pela literatura. As análises de sorção e solubilidade evidenciaram um comportamento adequado para todas as formulações, assim como os ensaios de viabilidade celular que demonstraram biocompatibilidade e baixa citotoxicidade dos nanocompósitos, sugerindo seu potencial para aplicação clínica. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a incorporação de 0,05% de OGF em resinas acrílicas para impressão 3D consiste na estratégia mais promissora e inovadora deste estudo, aliando propriedades adequadas e potencial aplicação para futuras otimizações funcionais de materiais poliméricos voltadas a diferentes áreas da odontologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** impressão 3D; óxido de grafeno fluorado; fluoreto de sódio; placas oclusais; odontologia.

## ABSTRACT

The present study aimed to characterize composites and nanocomposites based on a photocurable liquid acrylic resin for 3D printing (RES), intended for the fabrication of occlusal splints, which are inert devices used in the management of bruxism and temporomandibular disorders (TMD). These resins were modified with graphene oxide (GO), graphene oxide functionalized (OGF) with hydrofluoric acid (HF), followed by the incorporation of sodium fluoride (NaF). Characterization analyses confirmed the effective chemical modification of the nanofillers, and the sample treated with 7.5 mL of HF (FGO\_7.5) was selected for nanocomposite formulation due to its superior performance in the conducted tests. The GO, OGF, and NaF fillers were incorporated into the resin by sonication, and the samples were successfully obtained via 3D printing. Regarding mechanical properties, the Shore D hardness test revealed the maintenance of this property after the addition of the fillers ( $p > 0.05$ ). Additionally, increased wear resistance was observed in all nanocomposites ( $p < 0.001$ ), with the lowest values attributed to RES+GO (33%), RES+GO+NaF (37.9%), RES+NaF (41.7%), and RES+OGF (42.7%), whereas RES presented 52.4%. The addition of fillers did not affect the compressive strength of the samples ( $p < 0.05$ ); however, it reduced their compressive elastic modulus compared to RES. Thermal analyses indicated greater resilience and flexibility in the samples containing nanofillers, with a reduction in storage modulus values, as well as in loss modulus and glass transition temperature (RES =  $94.967\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.404\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+GO =  $80.667\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.704\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+OGF =  $80.3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.229\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; RES+NaF =  $80.033\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.003\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; and RES+GO+NaF =  $80.033\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.003\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Thermomechanical analysis demonstrated the maintenance of dimensional stability after filler addition within the clinical temperature range ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), with the lowest value observed for RES+OGF ( $0.08704\% \pm 0.01498\%$ ) compared to RES ( $0.10219\% \pm 0.03337\%$ ). Thermogravimetric analysis (TGA) showed that the incorporation of fillers did not significantly alter the thermal degradation behavior. The evaluation of fluoride ion release in artificial saliva confirmed the presence of fluoride ions at all evaluated time points (24 h, 48 h, 7 d, 14 d, and 30 d), although the concentration of fluorinated fillers used (0.05%) was not sufficient to achieve the desired anticaries effect, as reported in the literature. Sorption and solubility analyses demonstrated adequate behavior for all formulations, and cell viability assays indicated biocompatibility and low cytotoxicity of the nanocomposites, suggesting their potential for clinical application. Based on the obtained results, it can be concluded that the incorporation of 0.05% FGO into acrylic resins for 3D printing represents the most promising and innovative strategy of this study, combining suitable properties with potential application for future functional optimization of polymeric materials in different fields of dentistry.

**Keywords:** 3D printing; fluorinated graphene oxide; sodium fluoride; occlusal splints; dentistry.