



Monografia

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**PROPRIEDADES DAS RESINAS ACRÍLICAS MODIFICADAS POR
NANOPARTÍCULAS DE TITÂNIO – REVISÃO DA LITERATURA**

**PROPERTIES OF ACRYLIC RESINS MODIFIED BY TITANIUM
NANOPARTICLES – A LITERATURE REVIEW**

Lucas Pirineus Patti

Porto, 2022

Monografia

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

Artigo de Revisão Bibliográfica

“Propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio – revisão da literatura”

“Properties of acrylic resins modified by titanium nanoparticles – a literature review”

Lucas Pirineus Patti –

Estudante do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de
Medicina Dentária da Universidade do Porto
up201609416@edu.fmd.up.pt

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Margarida Ferreira Sampaio Fernandes
Professora Auxiliar Convidada da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Aline Úrsula Rocha Fernandes
Professora Adjunta do Departamento de Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde
da Universidade de Brasília

Porto, 2022

RESUMO

A resina acrílica à base de polimetilmetacrilato (PMMA) é um importante material dentário utilizado rotineiramente na prática clínica de Reabilitação Oral. Existem limitações quanto às suas características físicas e antimicrobianas, sendo que o uso de nanopartículas pode auxiliar na diminuição dessas desvantagens. O objetivo do presente estudo é rever, estudar e compreender as propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio (TiO_2), quando comparadas com as resinas acrílicas convencionais. Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados PubMed, Web of Science, B-on, Scopus, Google Scholar e Lilacs. Os artigos encontrados foram avaliados separadamente em cada base de dados e selecionados caso o tema central fosse relacionado com as alterações causadas por nanopartículas em resinas acrílicas para depois passarem pelos critérios de exclusão pré-definidos. Foram encontrados um total de 900 artigos em todas as bases de dados consultadas e selecionados 673 para avaliação pelos critérios de exclusão e inclusão e leitura dos resumos dos trabalhos. Selecionaram-se 65 na primeira etapa, e foram incluídos 23 artigos, após a leitura integral dos trabalhos. Do ponto de vista mecânico, o aumento ou diminuição da resistência à flexão, resistência ao impacto, microdureza, resistência à torção e sorção de água depende da concentração da nanopartícula de TiO_2 na matriz polimérica. A nanopartícula mostrou ser biossegura e com baixa citotoxicidade, além de diminuir a absorção de pigmentos por parte da resina acrílica. Também são eficazes em reduzir a adesão microbiana na superfície das resinas, tanto se forem pulverizadas sobre a resina, como se incorporadas na matriz. Concluiu-se que as nanopartículas de titânio possuem grande potencial na melhoria das resinas acrílicas em diversos parâmetros. As vantagens apontadas na melhoria das características mecânicas ainda são controversas, sendo necessários mais estudos que identifiquem uma concentração ideal na matriz polimérica. O uso de nanopartículas por revestimento parece ser uma opção interessante de agregar os benefícios antimicrobianos das nanopartículas caso futuros estudos comprovem uma maior desvantagem nas propriedades mecânicas, quando incorporados na resina acrílica.

Palavras-chave: Resina acrílica, polimetilmetacrilato, nanopartículas de dióxido de titânio, dióxido de titânio, TiO_2 .

ABSTRACT

Acrylic resin based on polymethylmethacrylate (PMMA) is an important dental material used routinely in the clinical practice of Oral Rehabilitation. There are limitations regarding their physical and microbial characteristics, and the use of nanoparticles can help to reduce these disadvantages. The aim of the present study is to review, study and understand the properties of acrylic resins modified by titanium nanoparticles (TiO_2), when compared with conventional acrylic resins. A search was carried out in PubMed, Web of Science, B-on, Scopus, Google Scholar and Lilacs databases. The articles found were evaluated separately in each database and selected if the central theme was related to the changes caused by nanoparticles in acrylic resins and then passed the pre-defined exclusion criteria. A total of 900 articles were found in all the databases consulted and 673 were selected for evaluation by the exclusion and inclusion criteria and reading the abstracts of the works. 65 were selected in the first stage. and 23 articles were included, after reading the works in full. From a mechanical point of view, the increase or decrease in flexural strength, impact strength, microhardness, tensile strength and water sorption depends on the concentration of the TiO_2 nanoparticle in the polymer matrix. The nanoparticle proved to be biosafe and with low cytotoxicity, in addition to decreasing the absorption of pigments by the acrylic resin. They have also been shown to be effective in reducing microbial adhesion to the surface of resins, whether sprayed onto the resin or embedded in its matrix. It was concluded that titanium nanoparticles have great potential in improving acrylic resins in several parameters. The advantages pointed out in the improvement of the mechanical characteristics are still controversial, and more studies are needed to identify an ideal concentration in the polymer matrix. The use of nanoparticles for coating seems to be an interesting option to add the antimicrobial benefits of nanoparticles if future studies prove a greater disadvantage in mechanical properties when incorporated into acrylic resin.

Key words: Acrylic resin, polymethylmethacrylate, titanium dioxide nanoparticles, titanium dioxide, TiO_2 .

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	3
RESULTADOS.....	5
DISCUSSÃO	17
CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
ANEXOS.....	29

INTRODUÇÃO

A resina acrílica à base de polimetilmetacrilato (PMMA) é um importante material dentário utilizado rotineiramente na prática clínica de Reabilitação Oral. Após o seu aparecimento em 1937, grande parte das próteses removíveis confeccionadas utilizavam o PMMA como base, devido às suas características favoráveis: biocompatibilidade, estabilidade química e dimensional, ser insípido e inodoro, propriedades térmicas satisfatórias, boa capacidade de polimento, aparência natural e durabilidade. Já no ano de 1946, devido a essas características, 98% das bases de próteses eram de PMMA.(1-4)

Ao longo do tempo, a resina acrílica tornou-se mais versátil, com a melhoria das suas características físicas e mecânicas, o que permitiu que o PMMA aumentasse seu espaço na Medicina Dentária, sendo usada para a confecção de dentes artificiais, próteses maxilofaciais e restaurações provisórias, e também para o conserto e o rebasamento de próteses removíveis.(2,3).

Contudo, sabe-se que existem limitações quanto às características físicas da resina acrílica. Durante a vida útil de uma prótese dentária, os efeitos das forças mastigatórias podem causar estresses mecânicos e deformações, o que aumenta os riscos de fratura e diminui a adaptação da prótese sobre os tecidos de suporte. Além disso, como desvantagens, as resinas acrílicas apresentam baixa resistência à fadiga, baixa resistência à fratura, baixa dureza superficial, alto coeficiente de expansão térmica e fragilidade ao impacto.(5,6)

A nanotecnologia é uma ciência que se baseia na manipulação de pequenas estruturas em escalas moleculares, o que possibilita criar ou modificar diferentes tipos de materiais. Compreender melhor a estrutura atômica dos materiais para reorganizar ou incorporar alguma nanopartícula na sua composição, pode ser uma forma interessante de melhorar alguma característica ou acrescentar um benefício ao material. Sendo assim, reconhece-se uma grande importância desta ciência na Medicina Dentária para o desenvolvimento de novos métodos terapêuticos e materiais dentários.(5,7)

Existem diferentes nanopartículas descritas na literatura que podem melhorar as características mecânicas das resinas acrílicas, entre elas, os óxidos metálicos (óxido de alumínio – Al_2O_3 , dióxido de zircônio – ZrO_2 , óxido de prata – AgO_2 , dióxido de titânio – TiO_2), as nanopartículas de ouro, e as fibras de vidro e de carbono. Também é esperado que as nanopartículas apresentem características antimicrobianas que reduzam a quantidade de biofilme aderido à superfície das próteses e consequentemente a prevalência de estomatite protética nos portadores de prótese removível.(8-10)

A nanopartícula de titânio (TiO_2) apresenta resistência físico-mecânica e à corrosão, inatividade química, alta microdureza (resistência a deformação), e é antimicrobiana, não tóxica. Como tal, ao acrescentar essa nanopartícula, várias desvantagens da resina acrílica PMMA poderiam ser diminuídas.(10,11)

Em 2019, 41,4% da população portuguesa utilizava algum tipo de prótese dentária removível, o que mostra que desenvolver e aprimorar novas composições de resinas acrílicas poderia beneficiar grande parte da população. Destaca-se também que uma prótese com maior resistência física pode diminuir os custos para o portador de prótese removível, uma vez que as probabilidades de fratura da prótese acrílica seriam menores e a necessidade de novos procedimentos laboratoriais também.(12,13)

O objetivo do presente estudo é rever, estudar e compreender as propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio, quando comparadas com as resinas acrílicas convencionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados PubMed, Web of Science, B-on, Scopus, Google Scholar e Lilacs utilizando como palavras-chave os seguintes termos, em associações: (“Titanium dioxide” OR “Titanium dioxide nanoparticles” OR “TiO₂”) AND (“Acrylic Resins” OR “Acrylic Resin”). A pesquisa foi realizada sem limites da data de publicação até o dia 26/02/2022. Para organização e seleção dos artigos encontrados, foi utilizado o programa Endnote Web™ (2016, Estados Unidos).

Os artigos encontrados foram avaliados separadamente em cada base de dados e selecionados caso o tema central fosse relacionado com as alterações causadas por nanopartículas em resinas acrílicas. Depois, os trabalhos passaram pelos critérios de exclusão pré-definidos.

Os estudos foram excluídos se: (1) Artigos caracterizados como cartas, opiniões pessoais, capítulos de livros, relatos e séries de casos, revisões, notas técnicas e resumos de conferências; (2) Resinas acrílicas ou outros materiais não utilizados para reabilitação oral; (3) Trabalhos cujo tema principal fosse distinto das alterações causadas pelas nanopartículas de titânio em resinas acrílicas; (4) Textos não disponíveis em língua portuguesa, espanhola ou inglesa; (5) Texto na íntegra não disponível para leitura; (6) Artigos duplicados nas bases de dados; (7) Resinas acrílicas de natureza autopolimerizável, fotopolimerizável ou polimerização em micro-ondas; (8) Nanopartículas que não sejam de titânio ou comparação entre diferentes nanopartículas.

O processo de seleção dos artigos foi conduzido em duas fases. Na primeira etapa, foi realizada a leitura de todos os títulos e resumos dos artigos, com o intuito de selecionar os que possuem alguma relevância sobre o tema a ser estudado e de realizar a exclusão pelos critérios estabelecidos. Posteriormente, os artigos selecionados nas diferentes bases de dados foram agregados para que fosse possível retirar os trabalhos duplicados e para que fossem analisados na íntegra. Caso o trabalho como um todo não apresentasse como foco direto as alterações causadas pelas nanopartículas de titânio ou não atendesse aos critérios de legibilidade já definidos seria excluído da revisão.

Os artigos incluídos neste trabalho de revisão foram organizados numa tabela (Tabela I) explicitando os objetivos, a metodologia, os resultados, e as conclusões de cada um dos estudos.

RESULTADOS

Foram encontrados um total de 900 artigos em todas as bases de dados consultadas. Inicialmente, foram retirados 127 artigos por não terem ligação com o tema estudado, e foram selecionados 673 para avaliação pelos critérios de exclusão e inclusão, e leitura dos resumos dos trabalhos. Desses, os trabalhos excluídos foram divididos em 8 grupos: (1) 121 artigos, por se enquadrarem como cartas, opiniões pessoais, capítulos de livros, relatos e séries de casos, revisões, notas técnicas e resumos de conferências; (2) 135, por serem relativos a resinas acrílicas ou outros materiais não utilizados para reabilitação oral; (3) 139 artigos que possuíam como tema principal do trabalho alterações distintas das causadas pelas nanopartículas de titânio em resinas acrílicas; (4) 21 textos não disponíveis em língua portuguesa, espanhola ou inglesa; (5) 1 texto na íntegra não disponível para leitura; (6) 8 artigos duplicados; (7) 22 que utilizavam resinas acrílicas de natureza autopolimerizável, fotopolimerizável ou polimerização em micro-ondas; (8) 161 artigos que exploravam nanopartículas que não sejam de titânio ou comparação entre diferentes nanopartículas. Ao total, foram excluídos 608 artigos pelos critérios de exclusão e selecionados 65 na primeira etapa.

Para leitura dos artigos na íntegra, foi necessário retirar os trabalhos duplicados quando as bases de dados foram agregadas. Dos 65 artigos, foram encontrados 31 trabalhos únicos para avaliação na segunda etapa e 34 apareciam mais de uma vez. Ao final dessa etapa de eliminação e leitura na íntegra, foram incluídos 23 artigos. A exclusão nessa última etapa ocorreu por 4 artigos avaliarem resinas acrílicas autopolimerizáveis e não estava descrito no resumo do trabalho e os outros 4 por não apresentarem um foco específico em comparar resinas acrílicas com e sem nanopartículas.

As Figuras 1, 2, 3, 4, e 5 explicitam o processo de seleção dos artigos em cada base de dados e o número encontrado em cada etapa. Apenas 1 artigo foi encontrado na pesquisa na base de dados LILACS, porém não foi selecionado. Devido a heterogeneidade dos trabalhos publicados, não foi possível realizar uma metanálise dos resultados obtidos.

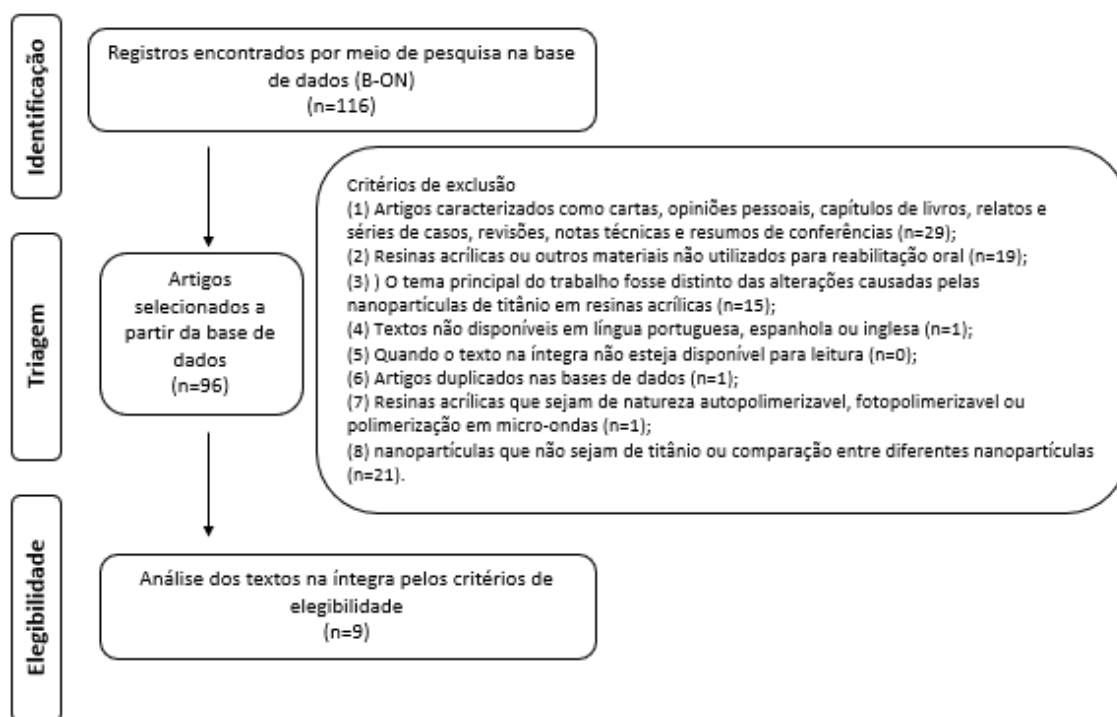


Figura 1 – Fluxograma que representa o processo de seleção para a base de dados B-ON.

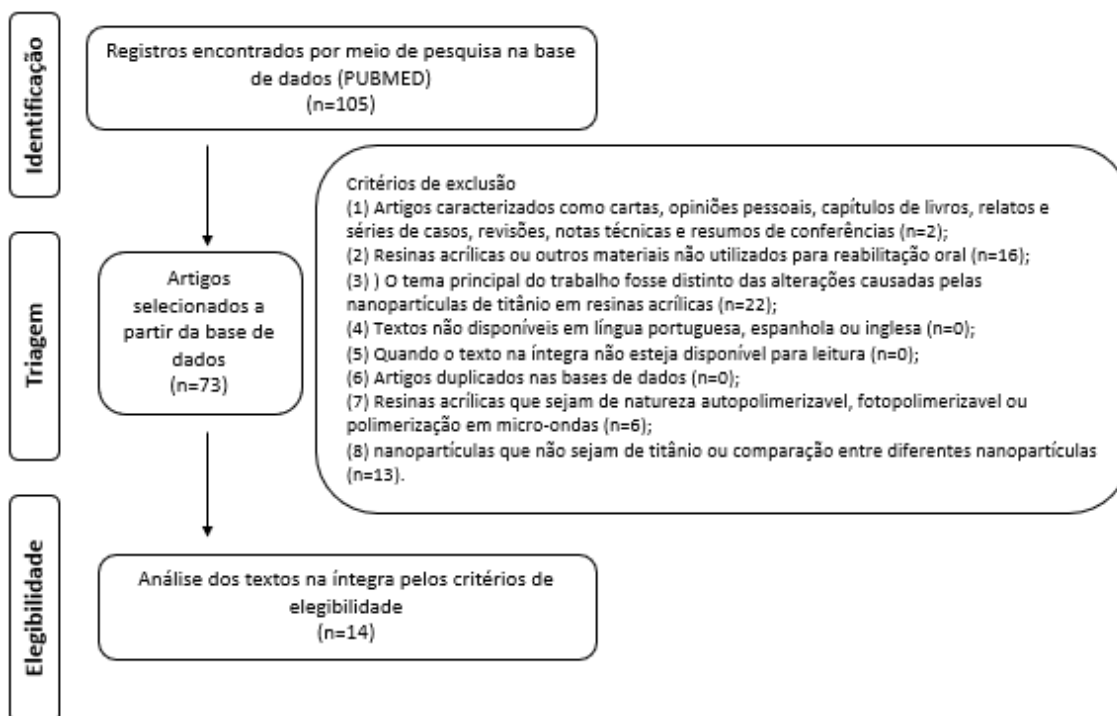


Figura 2 – Fluxograma que representa o processo de seleção para a base de dados Pubmed.

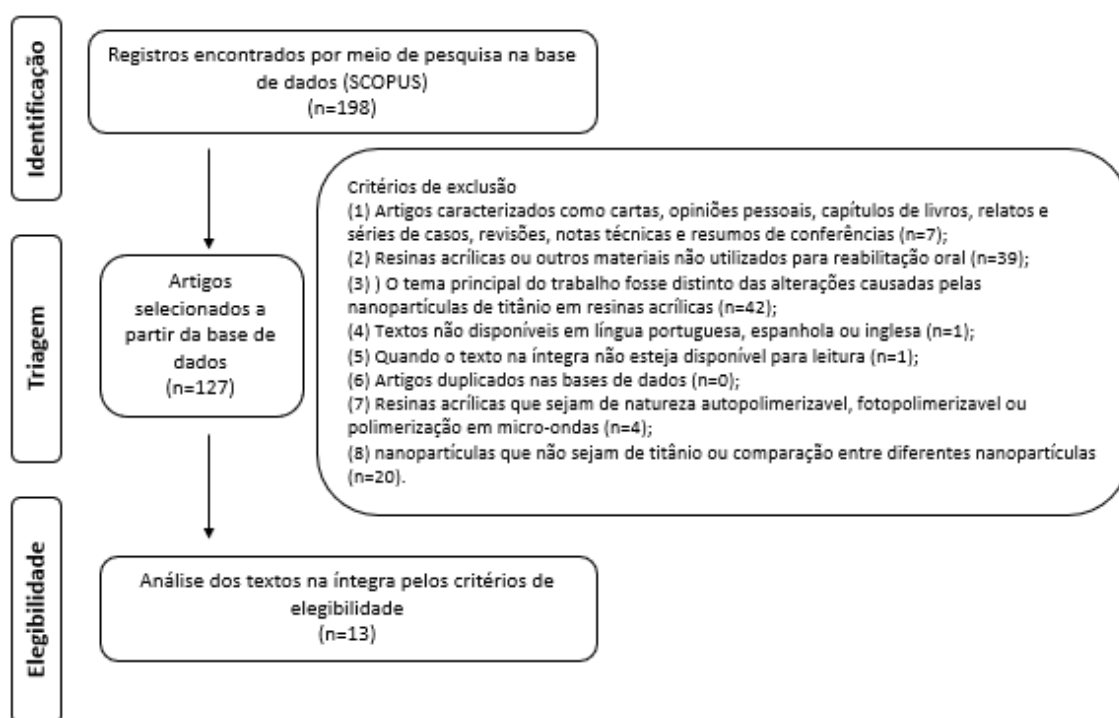


Figura 3 – Fluxograma que representa o processo de seleção para a base de dados Scopus.

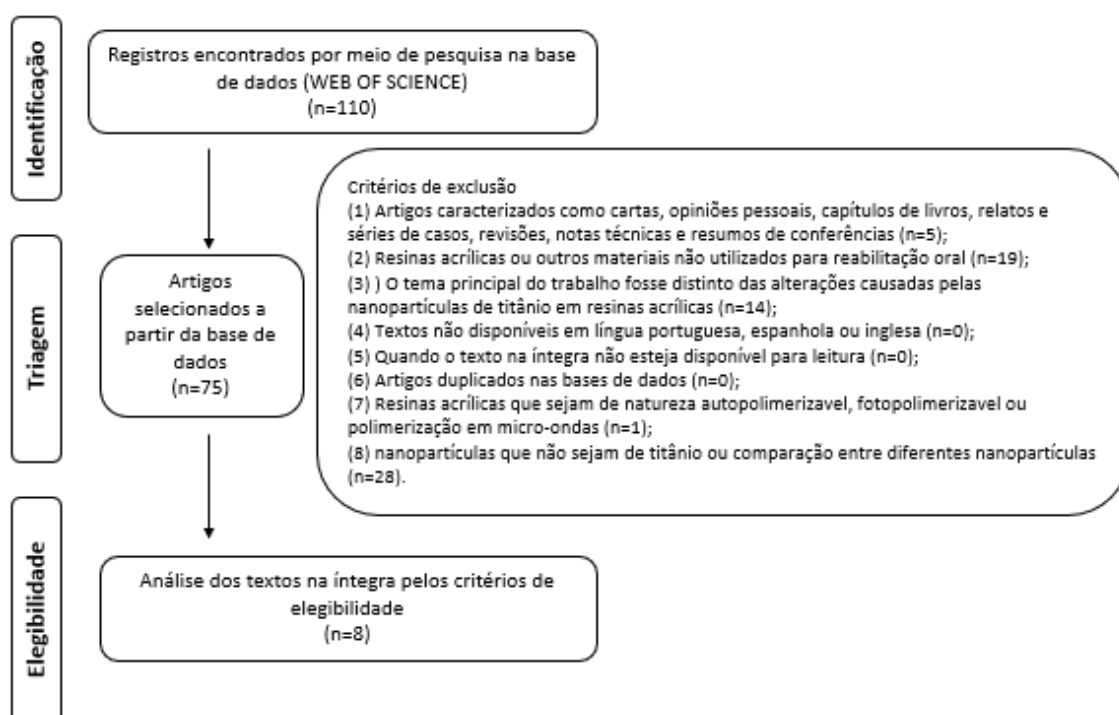


Figura 4 – Fluxograma que representa o processo de seleção para a base de dados Web of Science.

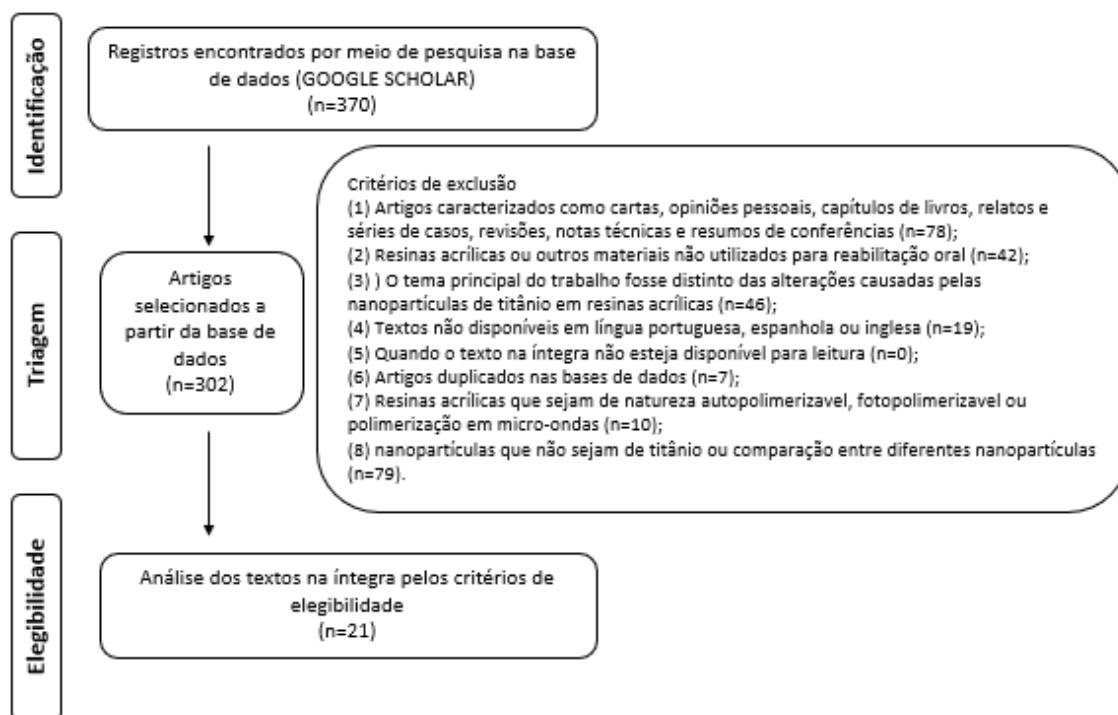


Figura 5 – Fluxograma que representa o processo de seleção para a base de dados Google Scholar.

A Figura 6 representa o número final de artigos selecionados, após retirar os duplicados e analisados na íntegra pelos critérios de elegibilidade definidos para este trabalho de revisão.

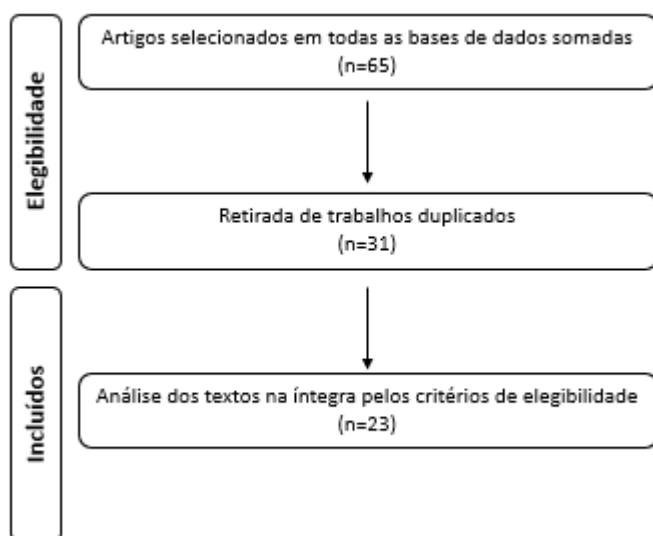


Figura 6 – Fluxograma final, após as pesquisas em todas as bases de dados, a retirada dos trabalhos duplicados e os integrados na revisão.

A Tabela I ilustra um resumo de todos os trabalhos encontrados na revisão, explicitando resumidamente os principais pontos como os objetivos, metodologia, resultados e conclusões.

Tabela I – Resumo dos artigos incluídos neste trabalho de revisão.

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Shibata, <i>et al.</i> , 2007 (14)	Observar o <u>efeito antifúngico</u> de RAT contendo diferentes concentrações de TiO ₂ na sua matriz.	Amostras RA (<i>Natural Resin Co., Kyoto, Japan</i>) em <u>4 concentrações diferentes de TiO₂ (0%, 1%, 5% e 10%)</u> Teste dos <u>efeitos antifúngicos contra <i>Candida albicans</i></u> ; testes de resistência à flexão e módulo de flexão.	O uso de nanopartículas tem efeito antifúngico, mas quando utilizadas em grandes concentrações pode afetar negativamente as propriedades mecânicas. O uso de <u>5% de concentração</u> foi considerado o mais viável, devido ao bom efeito antifúngico e à manutenção das propriedades mecânicas.
Arai <i>et al.</i> , 2009 (15)	Investigar a possível <u>diminuição da adesão bacteriana e fúngica</u> com a utilização de um revestimento de nanopartículas de titânio em RA.	60 amostras de RA (<i>Acron, Mumbai, India</i>) divididas em 2 grupos: 1 grupo controlo e 1 grupo com revestimento em spray denominado Paltitan PT15603 (<i>Nihon Parkerizing, Kanagawa, Japan</i>) contendo TiO ₂ . Avaliação da concentração de biofilme após colocação das amostras em <u>meio de cultura dos microrganismos <i>Streptococcus sanguinis</i> e <i>Candida albicans</i></u> .	<u>Diminuição na quantidade de ambos os microrganismos, nas amostras contendo revestimento de TiO₂</u> em relação ao grupo controlo.
Harini <i>et al.</i> , 2014 (16)	Avaliar <u>resistência à flexão</u> nas RA quando adicionadas nanopartículas de TiO ₂ em diferentes concentrações.	40 amostras de RA divididas em 4 grupos: <u>1 grupo controlo e 3 grupos utilizando nanopartículas de TiO₂ em 1%, 2% e 5% de concentração</u> . Realizado teste de resistência à flexão entre os grupos e comparados entre si.	<u>Aumento crescente na resistência à flexão de acordo com a concentração de nanopartículas de TiO₂</u> . O maior valor foi encontrado no grupo de 5% (223.43 ± 49.27 MPa) menor valor de resistência foi encontrado no grupo controlo (176.06 ± 47.06 MPa).

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Nazirkar <i>et al.</i> , 2014 (17)	Avaliar e comparar o efeito de diferentes concentrações de nanopartículas de TiO ₂ em relação à <u>resistência à flexão</u> de RAT.	45 amostras (<i>Dental products of India, Mumbai, India</i>) divididas em 3 grupos de 15 amostras: <u>um grupo controlo e dois grupos com concentrações de TiO₂ em 0,5% e 1%.</u> Teste de resistência à flexão.	O grupo controlo apresentou maior resistência a flexão (90.65 ± 9.67 MPa), e o <u>grupo teste de 1% o menor valor (76.38 ± 11.03 MPa).</u> O uso de nanopartículas de TiO ₂ pode afetar negativamente a resistência a flexão, que é inversamente proporcional à concentração de nanopartículas.
Mori <i>et al.</i> , 2015 (18)	Avaliar a aparência clínica em relação à <u>cor, brilho e rugosidade superficial</u> de RAT com revestimento de TiO ₂ .	3 grupos de RAT (<i>Acron, GC Corporation, Tokyo, Japan</i>): sem tratamento de superfície; RAT + <i>primer</i> de acrilil propil trimetoxisilano; RAT + <i>primer</i> + revestimento de TiO ₂ . Testes de colorimetria, rugosidade e brilho.	O revestimento de nanopartículas foi capaz de <u>aumentar na resina o grau de brilho superficial e manteve a sua coloração</u> , quando comparada com os outros grupos. Aumento da rugosidade em RAT com TiO ₂ .
Shirkavand <i>et al.</i> , 2014 (19)	Avaliar o comportamento em relação à <u>resistência à tração</u> de RAT reforçadas com nanopartículas de TiO ₂ .	36 amostras de RAT (<i>Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein</i>) divididas em 4 grupos: <u>grupo controle (0%) e 3 grupos com diferentes concentrações de TiO₂ (0,5%, 1%, 2%).</u> Teste de resistência à tração.	<u>O grupo 1% TiO₂ obteve o maior valor de resistência à tração (79.16 ± 5.68 MPa),</u> seguido pelo grupo de 2% (65.88 ± 5.34 MPa), depois o grupo de 0,5% (61.77 ± 6.81 MPa) e, por último, o grupo controlo (59.22 ± 4.02 MPa).
Tsuji <i>et al.</i> , 2015 (20)	Verificar a <u>biocompatibilidade</u> de RAT quando adicionado nanopartículas de titânio pela técnica de revestimento por pulverização .	Estudo em animais. Amostras de RA (<i>Acron; GC Corporation, Tokyo, Japan</i>), tratadas apenas com <i>primer</i> e RA <u>pulverizadas com primer + TiO₂ à 2,0%.</u> 3 categorias: <u>teste de irritação da mucosa oral, teste de sensibilização e teste intracutâneo.</u>	O estudo demonstrou que as amostras que continham TiO ₂ <u>não causaram irritação da mucosa oral e sensibilidade.</u> Não foram encontrados efeitos deletérios nos tecidos observados histologicamente. A RAT revestida por TiO ₂ apresenta alto grau de biocompatibilidade.

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Ahmed <i>et al.</i> , 2016 (21)	Investigar as alterações mecânicas de <u>resistência à flexão</u> , <u>resistência ao impacto</u> e <u>microdureza</u> em dois tipos de RAT (<i>Vertex-Dental, Zeist, Netherlands</i>): uma convencional e outra de alto impacto (<i>Implacryl</i>) com adição de duas concentrações diferentes de nanopartículas de TiO ₂ .	90 amostras, 30 para cada teste mecânico, divididos em 6 grupos: RAT sem nanopartículas; RAT com 1% de nanopartículas de TiO ₂ ; RAT com 5% de nanopartículas de TiO ₂ ; RAT de alto impacto sem nanopartículas; RAT de alto impacto com 1% de nanopartículas de TiO ₂ ; RAT de alto impacto com 5% de nanopartículas de TiO ₂ .	A <u>resistência ao impacto ao adicionar 1% de TiO₂ (100.5 ± 3.7 MPa) na RA convencional é similar à RA de alto impacto (107.1 ± 16.56 MPa).</u> <u>Adicionar 5% de TiO₂ em ambas as resinas aumenta consideravelmente a microdureza do material.</u> <u>A resistência à flexão pode ter um efeito adverso na RA quando adicionada a nanopartícula de TiO₂.</u>
Ghahremani <i>et al.</i> , 2017 (22)	Avaliar o <u>efeito da adição de 1% de TiO₂ em RAT</u> , observando <u>alterações morfológicas, e testes de resistência à tração e força de impacto.</u>	36 amostras de RA (<i>Ivoclar Viva dent Inc. Schaan, Liechtenstein</i>), divididas em 2 grupos. 16 delas como grupo teste e 16 como grupo controlo. Uma metade de cada grupo foi usada para testes de resistência à tração, e a outra para força de impacto.	Foi observado nas amostras com 1% de TiO ₂ um <u>aumento tanto na resistência à tração (90.6±5 MPa), quanto na força de impacto (27.96±1.57 MPa), em relação ao grupo controle, sendo de 79.1±3 MPa e 20.77±2 MPa respectivamente.</u> Ao Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM), <u>as nanopartículas apresentavam uma mistura homogênea na matriz da resina.</u>
Obata <i>et al.</i> , 2017 (23)	Avaliar em estudo clínico o <u>efeito de antiadesão microbiana</u> em RAT revestidas com TiO ₂ .	10 adultos dentados e sem doenças orais. Para cada adulto, foram produzidos discos de RA (<i>Procast DSP A2 and Acron No. 3; GC Corp, Brie, France</i>), com ou sem <u>nanopartículas, fixados em uma goteira, além de próteses palatinas com ou sem TiO₂. (Paltitan PTI5603S; Nihon Parkerizing, Japan).</u> Testes de medição microbiana total e teste de <u>aderência de goma de mascar.</u>	RA tratadas com TiO ₂ foram <u>capazes de diminuir a adesão microbiana e de alimentos.</u>

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Mansour <i>et al.</i> , 2017 (24)	Observar as alterações mecânicas (<u>resistência à flexão, resistência ao impacto e microdureza</u>) em diferentes concentrações de nanopartículas de titânio em RAT.	60 amostras (<i>AcrosomeTM, Egypt</i>), sendo 20 amostras para cada teste físico. 4 grupos: <u>um grupo controlo e 3 grupos testes em diferentes concentrações de nanopartículas (1%, 3% e 5%),</u> utilizados em testes de resistência à flexão, impacto e microdureza.	RAs modificadas com nanopartículas de TiO ₂ apresentaram <u>menor resistência a flexão que o grupo controlo (1%: 51.8 ± 13.2 MPa; 3%: 50.2±9.4 MPa; 5%: 48.6±9.2 MPa, 0%: 81.2±4.7 MPa).</u> Não observadas diferenças significativas na resistência ao impacto entre os grupos teste e o grupo controlo. Maior microdureza em RAs modificadas com TiO ₂ .
Alrahlah <i>et al.</i> , 2018 (25)	Estudar os <u>efeitos nanomecânicos, térmicos, viscoelásticos, e biológicos</u> em RAT quando adicionadas nanopartículas de titânio.	Confeção de discos de RA (<i>Lucitone 550, Dentsply International Inc., PA, USA</i>) modificados com nanopartículas de TiO ₂ em <u>3 diferentes concentrações (1 wt. %, 2 wt. %, e 3 wt. %) e um grupo controlo.</u> Realizados testes de comportamento térmico, nanodureza, módulo de elasticidade e cultura microbiana.	<u>Todas as propriedades mecânicas foram melhoradas com a adição das nanopartículas em diferentes concentrações.</u> Aumento da rigidez da matriz das Ras + <u>Alterações na superfície</u> da Ra, que promovem diminuição da aderência bacteriana.
Ardhianing <i>et al.</i> , 2018 (26)	Examinar o efeito da adição de nanopartículas de TiO ₂ em RAT, no que respeita à <u>citotoxicidade</u> .	24 espécimes de RA (QC-20, Dentsply, New York, USA) divididas em 4 grupos (n=6): <u>grupo controlo (0%) e 3 grupos com diferentes concentrações de TiO₂ (0,5%, 1% e 2%).</u> Avaliação da citotoxicidade, em <u>meio de cultura de fibroblastos.</u>	<u>Menor citotoxicidade encontrada no grupo de 0,5%,</u> seguido pelo controlo e depois pelos grupos 1% e 2%. <u>Baixas concentrações de TiO₂ podem diminuir a quantidade de monómero residual e consequentemente, reduzir a citotoxicidade.</u>

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Naji <i>et al.</i> , 2018 (27)	Investigar os <u>efeitos antimicrobianos</u> de nanotubos de titânio em RAT.	18 grupos: 9 submetidos a radiação UV e outros 9 não. Para cada subgrupo foram utilizados nanotubos de TiO ₂ nas concentrações de 0%, 2,5% e 5% e observadas a cultura de cepas para os <u>microrganismos</u> <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Streptococcus mutans</i> e <i>Candida albicans</i> .	<u>Diminuição significativa na concentração de microrganismos</u> em ambos os grupos de estudo, quando comparados com o grupo controle. <u>Maior diminuição ocorreu em amostras com 5% de nanotubos e expostas a radiação UV.</u>
Naji <i>et al.</i> , 2018 (28)	Observar os <u>efeitos mecânicos</u> da adição de nanotubos de titânio (n-TiO ₂) na matriz de PMMA termopolimerizável.	45 amostras de RA (<i>mega CRYL HOT, megadental GmbH, Bidingen, Germany</i>) para cada teste, divididos em 3 grupos: <u>grupo controle (0%) e dois grupos teste com n-TiO₂ em concentrações de 2,5% e 5%.</u> Testes de <u>resistência à flexão, à fratura e microdureza.</u>	<u>Aumento na resistência nos grupos com n-TiO₂</u> , em todos os testes mecânicos realizados, quando comparados com o grupo controle. Maiores valores de resistência à foram encontrados nos grupos com concentração 5% n-TiO ₂ . (90.71 ± 19.82 MPa) e o menor no grupo controle (51.19 ± 8.16) O mesmo ocorreu com a microdureza, sendo os maiores valores na RA com 5% de n-TiO ₂
Kashyap <i>et al.</i> , 2018 (29)	Avaliar as diferenças cromáticas que podem ocorrer na RAT com revestimento de TiO ₂ quando colocadas em diferentes soluções.	Foram produzidas 50 amostras de RA (<i>DPI, Mumbai, India</i>), sendo metade delas com revestimento de TiO ₂ à 2% em sua superfície. Cinco amostras de cada resina foram imersas em um tipo diferente de solução, sendo eles: saliva artificial (grupo controle), café, refrigerante a base de cola, álcool e solução de cúrcuma. As amostras passaram por um espectômetro e observada a diferença cromática após 56 dias.	As RA sem revestimento apresentaram maior variação cromática após a imersão nas soluções. O revestimento de TiO ₂ diminui a variação cromática e pode aumentar a vida útil da prótese e o grau de satisfação estético por parte do doente.

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Tandra <i>et al.</i> , 2018 (30)	Descobrir os efeitos das nanopartículas de TiO ₂ , em relação a <u>resistência à flexão</u> de RAT.	27 amostras de RA (QC 20-Densply, New York, USA) divididos em 3 grupos (n=9): <u>grupo 1 – controlo (0%), o grupo 2 com concentração de 1% e o grupo 3 com 3% de TiO₂.</u> Todas as amostras foram submetidas ao teste de resistência à flexão.	Maior resistência à flexão no grupo 2 (106.99 ± 6.09 MPa), quando comparado ao grupo 1 (96.22 ± 4.96 MPa) e ao grupo 3 (91.64 ± 5.38 MPa). <u>Maiores concentrações de TiO₂ (superiores a 1%) pode diminuir a resistência à flexão na RA.</u>
Darwish <i>et al.</i> , 2019 (31)	Avaliar as <u>características de superfície e interações microbianas de <i>Candida albicans</i></u> de RAT quando adicionada uma camada nanopartículas em seu exterior.	82 espécimes de RA (Lucitone 199, Dentsply Intl, York, PA), divididos em 2 grupos: o grupo controlo e o grupo teste com nanopartículas em sua superfície. <u>Testes de resistência à flexão, molhabilidade, cultura de microrganismos, e avaliação de superfície por um perfilômetro.</u>	<u>Melhoria na molhabilidade, resistência ao desgaste, lisura superficial</u> em RAs com TiO ₂ em sua superfície. Aumento na resistência à flexão no grupo teste (160.7 ± 37.1 MPa) em relação ao grupo controlo (139.4 ± 11.3 MPa). Diminuição de até 56% na adesão de <i>Candida albicans</i> na superfície das RAs com TiO ₂
Moslehifard <i>et al.</i> , 2019 (32)	Avaliar a <u>resistência à flexão, compressão e impacto</u> em RAT reforçadas por nanopartículas de TiO ₂ .	108 amostras de RAs (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, sendo 36 amostras de RAs para cada teste mecânico divididas em <u>4 concentrações de TiO₂ (0%, 0.5%, 1% e 2%).</u> Avaliação por <u>Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM).</u>	Microscopicamente, a RA com 1% de TiO ₂ apresentou a matriz mais homogênea. Na resistência à compressão, não há diferença significativas entre os grupos. <u>Concentrações superiores a 1% de TiO₂ podem diminuir a resistência à flexão e ao impacto das RAs.</u>
Tekale <i>et al.</i> , 2020 (33)	Avaliar a <u>sorção de água</u> em RAT ao adicionar nanopartículas de titânio em sua composição.	40 amostras divididas em <u>4 grupos: grupo controlo (0%); 3 grupos com nanopartículas em diferentes concentrações (1%, 3% e 5%).</u>	Verificou-se uma <u>diminuição decrescente de sorção de água de acordo com o aumento da concentração de nanopartículas de titânio</u> (maior sorção no grupo controlo).

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

Tabela I (continuação)

Autores e ano de publicação	Objetivos	Metodologia	Resultados e Conclusões
Azeez <i>et al.</i> , 2021 (34)	Utilizar nanopartículas de titânio em bases de PMMA termopolimerizável e avaliar as <u>alterações mecânicas e de estabilidade cromática</u> .	80 amostras divididos em <u>2 grupos: RA com nanopartículas de TiO₂ a 3%; grupo controlo sem nanopartículas</u> . Testes de <u>resistência à tensão, porosidade, estabilidade cromática e molhabilidade</u> .	Ao incorporar as nanopartículas, houve <u>aumento na resistência à tensão e molhabilidade no grupo teste</u> (. Não há diferenças significativas na porosidade e na coloração, entre o grupo controlo e o grupo teste.
Mutiará <i>et al.</i> , 2021 (35)	Analisar os efeitos da adição de nanopartículas de em RAT, no que respeita a <u>resistência ao impacto, resistência à tração e microdureza</u> .	27 amostras de RA (<i>Huge Denture Base Polymer, Huge Dental Material Co., LTD., China</i>) para cada um dos testes mecânicos; 3 grupos para cada teste: <u>um grupo controlo (0%) e dois grupos teste em concentrações de 0,5% e 1% de TiO₂</u> .	<u>Maior resistência ao impacto, tração e microdureza quando utilizado 1% de concentração de TiO₂</u> (43.18 ± 3.58 J/m, 95.58 ± 10.68 MPa, 17.62 ± 0.32 VHN, respectivamente) O grupo controlo apresentou os menores valores em todos os testes (29.45 ± 1.46 J/m, 48.14 ± 4.75 MPa, 15.62 ± 0.42 VHN)
Raj <i>et al.</i> , 2021 (36)	Observar o efeito da adição de nanopartículas de titânio em relação a <u>citotoxicidade e resistência à flexão</u> em RAT.	64 amostras divididas em <u>4 grupos: um controlo (0%), e os restantes modificados com 3%, 5% e 7% de TiO₂</u> . Teste de resistência à flexão. Teste de citotoxicidade (apenas grupos 0 e 3%), com outras 6 amostras de cada grupo.	O grupo controlo apresentou a maior <u>resistência à flexão (298.95 ± 20.24 MPa)</u> , <u>que foi diminuindo com o aumento da concentração de TiO₂</u> , sem diferença significativa entre o grupo 0% e 3% (280.96 ± 28.21 MPa). A RA com nanopartícula à 3% de TiO ₂ tornou a resina mais biocompatível que o controlo. <u>A concentração de TiO₂ em 3% pode ser uma alternativa promissora para melhorar a RA.</u>

RA – resinas acrílicas; RAT – resinas acrílicas termoplásticas; TiO₂ – óxido de titânio.

DISCUSSÃO

Todos os trabalhos incluídos nesta revisão avaliam resinas acrílicas reforçadas e estudam o efeito das nanopartículas de titânio na resistência mecânica, na atividade antimicrobiana, na biocompatibilidade ou nas alterações cromáticas desses materiais.

Características mecânicas

1. Resistência à Flexão

Considerada a principal característica física relacionada com as fraturas e falhas clínicas que podem ocorrer com as próteses removíveis, a resistência à flexão foi o parâmetro mais estudado nos artigos encontrados. Também conhecido como módulo de rutura, resistência à fratura ou tenacidade do material, esse parâmetro mecânico pode ser definido como a capacidade que o material tem de resistir a uma determinada carga até seu o momento de rutura. Utilizado principalmente em materiais friáveis, o ensaio é geralmente realizado pela técnica de 3 pontos, onde o corpo de prova é apoiado nas suas extremidades e colocado sob tensão no centro até ao momento de fratura. Esse valor é medido em unidades de pressão (Pascal-Pa) e representa a maior tensão que o material pode receber antes de partir.(16, 37)

Contudo, os resultados encontrados na literatura possuem grande divergência quanto ao aumento ou a diminuição da resistência à flexão das resinas acrílicas em diferentes concentrações de nanopartículas, sendo esse facto mencionado em vários estudos.(21, 28, 38, 39)

O estudo realizado por Harini *et al.* (16) avaliou a resistência à flexão de resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de TiO_2 em concentrações de 1%, 2% e 5% e concluiu que ocorreu um aumento diretamente proporcional à concentração de TiO_2 . Tal facto justifica-se pelas nanopartículas possuírem pequeno tamanho e se ligarem dentro da matriz da resina acrílica, preenchendo pequenos espaços e aumentando a densidade e as propriedades mecânicas.

Já os estudos realizados por Tandra *et al.* (30) e Moslehifard *et al.* (32) argumentam que existe uma concentração máxima de nanopartículas na matriz da resina que beneficia as características mecânicas ou os mantém próximos dos resultados nos grupos controlo. Em ambos os casos, a concentração de nanopartículas de 1% obteve os maiores valores médios de resistência à flexão quando comparados ao grupo controlo e aos outros grupos testes de 2% e 3% de TiO_2 . Então, em maiores quantidades, não é possível manter uma mistura homogénea entre a matriz e a nanopartícula o que gera interrupções na cadeia das moléculas da resina e aglomerações de nanopartículas, além de interferir na polimerização e aumentar a concentração de monómero residual. Ainda outro estudo que avaliou concentrações de 3%, 5% e 7% de TiO_2 , concluiu que o grupo controlo (0%) não apresentou diferença estatística de resistência à flexão com o grupo de 3%, enquanto para os outros grupos houve uma diminuição.(36)

Em contraste, Ahmed *et al.* (21) e Naziskar *et al.* (17) avaliaram concentrações de 1% e 5% e de 0,5% e 1%, respetivamente., e encontraram uma diminuição diretamente proporcional à concentração das nanopartículas de TiO_2 . Para os autores, mesmo em concentrações pequenas, as nanopartículas podem aumentar a presença de monómeros que não irão reagir com o polímero. Esses monómeros residuais atuam como plastificante tornando as cadeias poliméricas mais distantes entre si e diminuindo a atração molecular, o que o torna mais quebrável. É de notar que, mesmo nos estudos que reportam uma diminuição da resistência à flexão, as resinas acrílicas modificadas por nanopartículas mantiveram o mínimo exigido pela *ADA specification no. 12* de 65MPa.(40)

2. Microdureza

A microdureza de um material é definida pela sua resistência a deformação a partir da aplicação de uma determinada carga em sua superfície. Geralmente ela é medida pelo teste de Vickers em que uma ponta piramidal de um diamante é pressionada sobre a superfície da amostra sob uma carga específica, o que gera uma deformação.(41)

Diversas equipas de investigação avaliaram esta característica em resinas acrílicas com adição das nanopartículas de TiO_2 e perceberam um aumento crescente na microdureza das amostras de acordo com a maior concentração das nanopartículas.(21, 24, 25, 35) Esse fato pode explicar-se devido à dureza que as nanopartículas de titânio apresentam e por preencherem os espaços vazios entre as moléculas da matriz, diminuindo a mobilidade molecular.

3. Resistência ao impacto

A resistência ao impacto também foi um teste mecânico bastante realizado nos estudos incluídos na revisão. Está relacionado principalmente com fraturas, quando ocorrem quedas acidentais por parte do utente ou de quem manuseia a prótese dentária. Para avaliar a resistência ao impacto de um material, ele é fixado sobre um aparelho, onde é feito um pequeno desgaste numa das superfícies e um pêndulo é responsável por partir a amostra. A energia necessária para fraturar a amostra é então avaliada e calculada.(32)

Diversos trabalhos (21, 22, 32, 35) avaliaram essa característica nas amostras de resinas acrílicas com diferentes concentrações de nanopartículas de TiO_2 , e, em todos os estudos, verificou-se um aumento da resistência ao impacto quando adicionado 1% de TiO_2 , pois existe uma adesão química entre a nanopartícula e o grupo -COOR das resinas acrílicas a base de PMMA, o que pode conduzir a um aumento na resistência.(35, 42, 43)

Ahmed *et al.* (21) e Moslehifard *et al.* (32) estudaram também concentrações de 5% e 2%, respetivamente. Ao contrário das concentrações inferiores em que se verificou um aumento em relação ao grupo controlo, as concentrações superiores foram responsáveis por diminuir a resistência ao impacto das resinas. Acredita-se que se explica por essas concentrações ultrapassarem o ponto máximo de saturação que a resina acrílica consegue incorporar em sua matriz, o que causa interrupção na cadeia das moléculas de resina e aglomerações de nanopartículas.(21, 32)

4 Resistência à tração

Os testes de tração consistem em promover uma força num corpo específico, no sentido de “esticá-lo” até o momento de sua fratura. Assim como ocorreu com a microdureza, os estudos laboratoriais também observaram que a concentração de 1% foi capaz de aumentar a resistência à tração, diferentemente de concentrações superiores que começaram a diminuir seus valores de resistência, devido as aglomerações de nanopartículas causarem o aumento dos monómeros residuais.(19, 22, 34, 35)

5. Sorção de água (molhabilidade)

A absorção de água afeta negativamente as propriedades físicas das resinas acrílicas, como alterações dimensionais e perda de coloração.(44)

Nesse sentido, Tekale *et al.* (33) e Azeez *et al.* (34) observaram que a adição de nanopartículas de titânio resulta numa menor sorção de água pela resina acrílica, explicado pela presença física das nanopartículas que preenchem os micro espaços vazios da matriz polimérica e impedem a entrada das moléculas de água ao longo do tempo. O mesmo foi observado por outro estudo que utilizou as nanopartículas de TiO_2 , numa camada pulverizada no exterior da amostra.(31)

Alterações cromáticas

Também é de grande importância que a reabilitação protética seja capaz de restabelecer a estética e a autoestima que podem ser afetadas pela perda de dentes. Por esse motivo, alguns estudos avaliaram se o uso de nanopartículas de titânio seria capaz de alterar as características cromáticas nas resinas acrílicas.(18, 29, 34).

Azeez *et al.* (34) e Mori *et al.* (18) concluíram que não houve diferença cromática entre resinas acrílicas com nanopartículas de TiO_2 em 3% e também pela técnica de pulverização da sua superfície. Já o estudo de Kashyap *et al.* (29) que também pulverizou TiO_2 na resina acrílica percebeu que ela pode

diminuir o grau de pigmentação quando a mesma é submersa em diferentes líquidos como café, refrigerante a base de cola, álcool e cúrcuma. Como as nanopartículas são capazes de se depositar entre as moléculas da matriz da resina acrílica, existe uma resistência maior da superfície à fixação dos pigmentos, mantendo a cor por mais tempo e aumentando a vida útil da prótese.(29)

Citotoxicidade

A citotoxicidade presente nas resinas acrílicas está associada principalmente à quantidade de monómero residual que pode estar presente após a reação de polimerização que podem irritar o tecido onde as mesmas estão em contato. Seus efeitos nas células são principalmente a alteração das membranas celulares com a solubilização da bicamada lipídica pela migração de pequenas moléculas de metacrilatos.(26,45).

Ardhianing *et al.* (26) e Raj *et al.* (36) conduziram seus estudos avaliando a citotoxicidade das resinas acrílicas modificadas com nanopartículas em culturas de fibroblastos e verificaram que houve uma diferença entre os grupos controlo e teste. O primeiro que realizou o estudo com concentrações de TiO_2 em 0,5%, 1% e 2% não encontrou diferença estatística até 1% na citotoxicidade em relação ao grupo controlo, diferentemente da concentração de 2% que diminuiu a viabilidade celular. Entretanto, o segundo estudo concluiu que a concentração de 3% foi capaz de aumentar a viabilidade celular de fibroblastos nos períodos de 24 horas e 7 dias em relação ao grupo controlo.

Tsuji *et al.* (20) utilizou uma técnica de pulverização de TiO_2 para avaliar os efeitos da citotoxicidade e biocompatibilidade das resinas acrílicas. O estudo experimental colocou pequenas amostras em diferentes partes do corpo de animais e avaliou-se histologicamente o processo de inflamação presente. Percebe-se que em todos os casos, as resinas acrílicas modificadas não apresentaram nenhuma irritação, sensibilidade ou efeitos deletérios nos tecidos estudados, como a mucosa oral e tecido intracutâneo.

Características antimicrobianas

A formação de biofilme nas próteses removíveis é um problema relativamente comum na prática clínica do médico dentista e pode levar a exposições de infeção para o utente como pneumonias e estomatites. Por esse motivo, o uso de nanopartículas também foi testado com o intuito de diminuir a proliferação bacteriana tanto na superfície como no interior das resinas acrílicas.(15,42)

Ao observar os estudos que incorporaram as nanopartículas de TiO_2 , houve uma diminuição na carga bacteriana de acordo com a concentração das mesmas nas resinas acrílicas.(14,25). Alrahlah *et al.* (25), que testaram os efeitos antimicrobianos em bactérias gram positivas (*Enterococcus faecalis*) e gram negativas (*Pseudomonas aeruginosa*), verificou uma diminuição de até 92% na formação de colónias bacterianas quando usado o TiO_2 em 3%. A atividade fotocatalítica consegue produzir radicais livres que podem reagir com compostos orgânicos e produzir o seu efeito antimicrobiano.(14,25)

O revestimento externo de nanopartículas de TiO_2 também é uma forma interessante de produzir efeitos antimicrobianos, e ao mesmo tempo, evitar as alterações mecânicas causadas pela sua presença na matriz polimérica. Com esse intuito, Arai *et al.* (15), Darwish *et al.* (31) e Obata *et al.* (23) conduziram seus estudos utilizando essa forma de agregar a nanopartícula e obtiveram resultados positivos em relação à diminuição da presença de biofilme para *Candida albicans* e *Streptococcus sanguinis*.

Portanto, em ambas as situações as nanopartículas de TiO_2 podem ser benéficas em evitar que colónias bacterianas ou fúngicas possam existir no meio oral e dificultar que doenças oportunistas se instalem, principalmente na população idosa que é a mais vulnerável e a que mais utiliza próteses dentárias.(23,43,44)

CONCLUSÃO

Da revisão da literatura realizada é possível concluir que as nanopartículas de titânio possuem grande potencial de melhorar as resinas acrílicas em diversos parâmetros. As vantagens apontadas na melhoria das características mecânicas ainda são controversas, sendo necessários mais estudos que identifiquem uma concentração ideal na matriz polimérica das resinas acrílicas termoplásticas, em que as nanopartículas podem ser misturadas de forma homogênea.

A variação dos materiais estudados, sendo produzidos por diversos fabricantes, também podem interferir nos resultados encontrados na literatura. Além disso, destacam-se as diferentes metodologias para produção das amostras.

O uso de nanopartículas por revestimento parece ser uma opção interessante de agregar os benefícios antimicrobianos das nanopartículas caso futuros estudos comprovem uma maior desvantagem nas propriedades mecânicas, quando incorporados na resina acrílica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peyton FA. History of resins in dentistry. Dent Clin North Am, Philadelphia. 1975;19(2):211-22.
2. Craig RG. Restorative dental materials. 10 ed., Saint Louis: Mosby. 1997.
3. Camacho DP, Svidzinski TIE, Furlaneto MC, Lopes MB, Corrêa GO. Braz J Surg Clin Res. 2014;6(3):63-72.
4. Anusavice KJ. Phillips science of dental materials. 10 ed., Philadelphia: WB Saunders Company. 1996:237-71.
5. Kumar CA, Kumar CR, Vamshikiran K, Deepthi G, Kumar GN, Akhilesh M. Evaluation of Impact Strength of Dental Acrylic Resins by Incorporation of TiO₂ Nanoparticles Using Two Different Processing Techniques. J Contemp Dent. 2019;20(10):1184-1189.
6. Nandal S, Ghalaut P, Shekhawat H, Gulati MS. New era in denture base resins: A review. Dent J Adv Stud. 2013;1(3):136-143.
7. Ozak ST, Ozkan P. Nanotechnology and dentistry. Eur J Dent. 2013;7(1):145-151.
8. Gad MM, Fouda SM, Al-Harbi FA, Napankangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. Int J Nanomedicine. 2017;12:3801-3812.
9. Dhira G, Berzins DW, Dhuru BV, Periathamby AR, Dentino A. Physical properties of denture base resins potentially resistant to candida adhesion. J Prosthodont. 2007;16(6):465-472.
10. Lilda RG, Rupesh PL, Pymplil U, Salagundi BS, Pallavi NT, Poonacha V. A comparative evaluation of the impact and flexural strengths of high impact acrylic resin reinforced with silanated zirconium dioxide and titanium dioxide nanoparticles and its hybrid combination - an invitro study. Int J Adv Res. 2020;8(2):781-791.

11. Alla R, Sajjan S, Alluri V, Ginjupalli K, Padhya NU. Influence of fiber reinforcement on the properties of denture base resins. *J Biomater Nano-Biotechnol.* 2013;4(1):91-97.
12. Ordem dos Médicos Dentistas [Página na Internet]. Observatório de Saúde Oral: Barômetro de Saúde Oral 2019. Acesso em 04 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.omd.pt/observatorio/barometro/barometro2019/>.
13. Machado AL, Bochio BC, Wady AF, Jorge JH, Canevarolo SV, Jr, Vergani CE. Impact strength of denture base and relined acrylic resins: An in vitro study. *J Dent Biomech.* 2012; 3:1758736012459535.
14. Shibata T, Hamada N, Kimoto K, Sawada T, Kumada H, Umemoto T, *et al.* Antifungal effect of acrylic resin containing apatite-coated TiO₂ photocatalyst. *Dent Mater J.* 2007;26(3):437-444.
15. Arai T, Ueda T, Sugiyama T, Sakurai K. Inhibiting microbial adhesion to denture base acrylic resin by titanium dioxide coating. *J Oral Rehabil.* 2009;36(12):902-908.
16. Harini P, Mohamed K, Padmanabhan TV. Effect of Titanium dioxide nanoparticles on the flexural strength of polymethylmethacrylate: An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 2014;25(4):459-463.
17. Nazirkar G, Bhanushali S, Singh S, Pattanaik B, Raj N. Effect of Anatase Titanium Dioxide Nanoparticles on the Flexural Strength of Heat Cured Poly Methyl Methacrylate Resins: An In-Vitro Study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2014;14(Suppl 1):144-149.
18. Mori K, Tsuji M, Ueda T, Sakurai K. Color and gloss evaluation of titanium dioxide coating for acrylic resin denture base. *J Prosthodont Res.* 2015;59(4):249-253.
19. Shirkavand S, Moslehifard E. Effect of TiO₂ Nanoparticles on Tensile Strength of Dental Acrylic Resins. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2014;8(4):197-203.

20. Tsuji M, Ueda T, Sawaki K, Kawaguchi M, Sakurai K. Biocompatibility of a titanium dioxide-coating method for denture base acrylic resin. *Gerodontology*. 2016;33(4):539-44.
21. Ahmed MA, El-Shennawy M, Althomali YM, Omar AA. Effect of titanium dioxide nano particles incorporation on mechanical and physical properties on two different types of acrylic resin denture base. *World J Nano Sci Eng*. 2016;6(3):111-119.
22. Ghahremani L, Shirkavand S, Akbari F, Sabzikari N. Tensile strength and impact strength of color modified acrylic resin reinforced with titanium dioxide nanoparticles. *J Clin Exp Dent*. 2017;9(5):e661-e665.
23. Obata T, Ueda T, Sakurai K. Inhibition of denture plaque by TiO₂ coating on denture base resins in the mouth. *J Prosthet Dent*. 2017;118(6):759-764.
24. Mansour MM, Al-Nassr MS, Shon AA, Fayad MI, Abd-Allah R. Effect of titanium dioxide nanoparticles on mechanical properties of denture base resin: an in vitro study. *Al-Azhar J Dent Sci*. 2017;20(3):261-265.
25. Alrahlah A, Fouad H, Hashem M, Niazy AA, AlBadah A. Titanium Oxide (TiO₂)/Polymethylmethacrylate (PMMA) Denture Base Nanocomposites: Mechanical, Viscoelastic and Antibacterial Behavior. *Materials (Basel)*. 2018;11(7):1096.
26. Ardhianing H, Titik I, Endang W. Effect of addition titanium dioxide nanoparticles as acrylic resin denture base filler on cytotoxicity. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia*. 2019;5(2):86-91.
27. Naji SA, Kashi TSJ, Pourhajibagher M, Behroozibakhsh M, Masaeli R, Bahador A. Evaluation of Antimicrobial Properties of Conventional Poly (Methyl Methacrylate) Denture Base Resin Materials Containing Hydrothermally Synthesised Anatase TiO₂ Nanotubes against Cariogenic Bacteria and *Candida albicans*. *Iran J Pharm Res*. 2018;17(Suppl 2):161-172.
28. Naji SA, Behroozibakhsh M, Kashi TSJ, Eslami H, Masaeli R, Mahgoli H, *et al*. Effects of incorporation of 2.5 and 5 wt% TiO₂ nanotubes on fracture toughness, flexural strength, and microhardness of denture base poly methyl methacrylate (PMMA). *J Adv Prosthodont*. 2018;10(2):113-21.

29. Kashyap RSU, Nalinakshamma M, Shetty S, Rao SP. Color stability of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resin coated with titanium dioxide upon storage in different beverages. *J Interdiscip Dentistry*. 2018;8(3):87-91.
30. Tandra E, Wahyuningtyas E, Sugiatno E. The effect of nanoparticles TiO₂ on the flexural strength of acrylic resin denture plate. *Padjadjaran J Dent*. 2018;30(1):35-40.
31. Darwish G, Huang S, Knoernschild K, Sukotjo C, Campbell S, Bishal AK, *et al*. Improving Polymethyl Methacrylate Resin Using a Novel Titanium Dioxide Coating. *J Prosthodont*. 2019;28(9):1011-1017.
32. Moslehifard E, Robati Anaraki M, Shirkavand S. Effect of adding TiO₂ nanoparticles on the SEM morphology and mechanical properties of conventional heat-cured acrylic resin. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2019;13(3):234-240.
33. Tekale RG, Mowade TK, Radke UM. Comparative evaluation of water sorption of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture base resin reinforced with different concentrations of silanized titanium dioxide nanoparticles: An In vitro study. *Contemp Clin Dent*. 2019;10(2):269.
34. Azeez ZA, Kareem RA, Abdulwahhab SS. The effect of nano titanium oxide particle incorporation on characteristic of denture base material. *Materials Today: Proceedings*. 2021;42(5):2102-2105.
35. Mutiara S, Nasution H, Chairunnisa R, Harahap K, Harahap SA, Yudhit A, *et al*. The Effect of Titanium Oxide (TiO₂) Nanoparticles Addition on Polymethyl Methacrylate Denture Base Impact Strength, Tensile Strength, and Hardness. *JIDMR*. 2021;14(4):1442-1446.
36. Raj V, Bhat V, John N, Shetty A, Joseph S, Kuriakose R, *et al*. Assessment of Flexural Strength and Cytotoxicity of Heat Cure Denture Base Resin Modified with Titanium Dioxide Nanoparticles: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract*. 2021;22(9):1025-1029.
37. Chitchumnong, P., Brooks, S.C. and Stafford, G.D. Comparison of three- and four-Point flexural strength testing of denture-base polymers. *Dent Mat*. 1989;5(1):2-5.

38. Hamouda IM, Beyari MM. Addition of glass fibers and titanium dioxide nanoparticles to the acrylic resin denture base material: comparative study with the conventional and high impact types. *Oral Health Dent Manag.* 2014;13(1):107-1.
39. Sodagar A, Bahador A, Khalil S, Shahrودي AS, Kassaei MZ. The effect of TiO₂ and SiO₂ nanoparticles on flexural strength of poly (methyl methacrylate) acrylic resins. *J Prosthodont Res.* 2013;57(1):15-9.
40. Revised American Dental Association Specification No. 12 for denture base polymers. *JADA.* 1975;90:2:451-458.
41. Medeiros JMF, et al. Análise da dureza Vickers da superfície de dentes artificiais em resina poliéster / Vickers hardness laboratory analysis surface of artificial teeth resin. *Rev Odontol Univ Cid São Paulo.* 2014;26(1):23- 37.
42. Kashiwabara T, Yoshijima Y, Hongama S, Nagao K, Hirota K, Ichikawa T. Denture plaque microflora in geriatric inpatients and maxillary defect patients. *Prosthodont Res Pract.* 2007;6:153–158.
43. Pietrokovski J, Azuelos J, Tau S, Mostavoy R. Oral findings in elderly nursing home residents in selected countries: oral hygiene conditions and plaque accumulation on denture surfaces. *J Prosthet Dent.* 1995;73(2):136-41.
44. De Visschere LM, Grooten L, Theuniers G, Vanobbergen JN. Oral hygiene of elderly people in long-term care institutions – a cross-sectional study. *Gerodontology.* 2006;23(4):195-204.

ANEXOS

DECLARAÇÃO

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Monografia/Relatório de Estágio

Identificação do Autor

Nome completo: Lucas Pirineus Patti

N.º identificação civil: 180408020

N.º estudante: 201609416

Email institucional: up201609416@edu.fmd.up.pt

Email alternativo: lucaspirineuspatti@hotmail.com

Tlf/Tlm: 913909825

Faculdade/Instituto: Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Identificação da Publicação

Dissertação de Mestrado Integrado (Monografia) ✓

Relatório de Estágio •

Título Completo: Propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio – revisão da literatura.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Margarida Ferreira Sampaio Fernandes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Aline Úrsula Rocha Fernandes

Palavras-Chave: Resina acrílica, polimetilmetacrilato, nanopartículas de dióxido de titânio, dióxido de titânio, TiO₂.

Autorizo a disponibilização imediata do texto integral no Repositório da U.Porto: ✓

Não autorizo a disponibilização imediata do texto integral no Repositório da U.Porto: _____

Autorizo a disponibilização do texto integral no Repositório da U.Porto, com período de embargo, no prazo de:

6 meses: ✓; 12 meses: ____; 18 meses: ____; 24 meses: ____; 36 meses: ____; 120 meses: ____; Justificação para a não autorização imediata:

Data: 29/05/2022.

Assinatura: Lucas Pirineus Patti

DECLARAÇÃO

Monografia/Relatório de Estágio

Declaro que o presente trabalho, no âmbito da Monografia/Relatório de Estágio, integrado no MIMD, da FMDUP, é da minha autoria e todas as fontes foram devidamente referenciadas.

Porto, 29 de maio de 2022.

Lucas Pirineus Patti

Lucas Pirineus Patti

Parecer do Orientador para entrega definitiva do trabalho apresentado

Declaro que o Trabalho de Monografia desenvolvido pelo estudante Lucas Pirineus Patti, do 5º ano do Curso de Mestrado Integrado em Medicina Dentária da FMDUP, com o título: “Propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio – revisão da literatura”, se encontra de acordo com as regras estipuladas pela Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

Mais informo que o referido trabalho, foi por mim conferido e se encontra em condições de ser apresentado em provas públicas.

Porto, 27 de maio de 2022.

A Orientadora

Margarida Sampaio Fernandes

(Professora Auxiliar Convidada da FMDUP)

PARECER DA COORIENTADORA

Informo que o Trabalho de Monografia desenvolvido pelo estudante Lucas Pirineus Patti, do 5º ano do Curso de Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, com o título “Propriedades das resinas acrílicas modificadas por nanopartículas de titânio – revisão da literatura”, está de acordo com as regras estipuladas na FMDUP.

Declaro, ainda, que foi por mim conferido e se encontra em condições de ser apresentado em provas públicas.

Brasília, Brasil, 29 de Maio de 2022.

A Coorientadora,

Aline Úrsula Rocha Fernandes
Professora Adjunta da Universidade de Brasília/Brasil