



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Araçatuba

**CAROLINE DE FREITAS JORGE**

**Impacto dos selantes de superfície na preservação das  
propriedades mecânicas de polímeros de PMMA para  
CAD/CAM, submetidos a desafio erosivo e termociclagem**

Araçatuba - SP  
2021

**CAROLINE DE FREITAS JORGE**

**Impacto dos selantes de superfície na preservação das propriedades mecânicas de polímeros de PMMA para CAD/CAM, submetidos a desafio erosivo e termociclagem**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de concentração em Prótese Dentária.

Orientador: Prof. Ass. Dr. Aldiéris Alves Pesqueira

Catálogo na Publicação (CIP)

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

J82i Jorge, Caroline de Freitas.  
Impacto dos selantes de superfície na preservação das propriedades mecânicas de polímeros de PMMA para CAD/CAM, submetidos a desafio erosivo e termociclagem / Caroline de Freitas Jorge. – Araçatuba, 2021  
64 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia de Araçatuba  
Orientador: Prof. Aldiéris Alves Pesqueira

1. Desenho assistido por computador 2. Polimetil metacrilato 3. Resistência à flexão I. T.

Black D3  
CDD 617.6

Bibliotecário: Claudio Hideo Matsumoto CRB-8/5550

*Dedico aos meus pais, Ricardo e Márcia,  
por todo amor, incentivo e carinho.*

*Agradecimientos*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP**, pela realização do curso de Mestrado em Odontologia.

À **Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP**.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001**, pelo apoio financeiro para a realização do mestrado.

Ao **Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese** e seus **professores** Prof. Associado Fellippo Ramos Verri, Prof. Titular Marcelo Coelho Goiato, Prof. Titular Eduardo Piza Pellizzer, Prof<sup>a</sup> Assistente Karina Helga Túrcio, Prof<sup>a</sup> Assistente Aimeé Maria Guiotti, Prof<sup>a</sup> Assistente Débora de Barros Barbosa, Prof. Associado Wirley Assunção, Prof<sup>a</sup> Associada Maria Cristina Rosifini Alves Rezende e seus **funcionários** Magda Requena Caciatore, Marco Antônio Moraes Borges, Eduardo Rodrigues Cobo, Jander de Carvalho Inácio, Carlos Alberto Gonçalves por todos os momentos de alegria, aprendizado e parceria que encontrei nesse lugar, foi uma felicidade poder conviver com pessoas tão especiais ao longo desses 6 anos.

Ao meu orientador, **Professor Doutor Aldiéris Alves Pesqueira**, uma das primeiras pessoas que acreditou em mim profissionalmente e me deu a oportunidade de conhecer o mundo das pesquisas. Desde minha primeira iniciação científica até o fim do meu mestrado, sempre esteve ao meu lado, me ensinando, me apoiando e principalmente sendo minha base para qualquer eventualidade. Exemplo de orientador, sempre fazendo o possível e muitas vezes o impossível para ajudar quem necessita, além da integridade e respeito que tem por todos ao seu redor. Obrigada por todos os momentos que passamos juntos, por cada conselho, por cada palavra, por cada risada e principalmente pela amizade.

À **Professora Doutora Daniela Micheline dos Santos**, que sempre me ajudou quando precisei, compartilhando seus conhecimentos com muita doçura e gentileza.

Seria impossível imaginar uma banca sem a presença da senhora. Obrigada por aceitar esse convite mais uma vez e também por todo aprendizado.

Ao **Professor Doutor Rodrigo Antônio de Medeiros**, que me ajudou desde minha primeira iniciação científica, sempre com muita paciência e dedicação. Agradeço por todo aprendizado e pelo aceite para compor a minha banca examinadora de dissertação de mestrado.

Ao **Professor Doutor Valentim Adelino Ricardo Barão**, pela ajuda em vários trabalhos ao longo desses anos, em estatísticas, metodologias ou qualquer dúvida científica. Muito obrigada por compartilhar seus conhecimentos com tanta dedicação, em especial, para a realização desta pesquisa.

Ao **Professor Doutor Paulo Henrique dos Santos**, por disponibilizar e por ajudar na utilização dos equipamentos do Departamento de Materiais Odontológicos e prótese. Sempre com muita simpatia e prontidão.

Ao **Professor Doutor Antônio Hernandes Chaves Neto**, pela ajuda no laboratório de Bioquímica do Departamento de Ciências Básicas na aquisição e na diluição do ácido clorídrico, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

A bibliotecária **Ana Claudia Martins Grieger Manzatti**, por todo o suporte para a confecção da escrita deste trabalho.

Aos amigos,

**Marcio Campaner**, pessoa fundamental para o desenvolvimento desse trabalho, desde a idealização do projeto até os momentos finais. Serei eternamente grata por toda sua ajuda, por todo companheirismo nos trabalhos e com certeza pela amizade.

**Sandro Basso Bitencourt**, que me ajudou desde o primeiro momento que entrei no grupo de pesquisa. Obrigada por sempre se fazer presente e nunca se cansar de me ajudar. Conte sempre comigo.

**Jéssica Marcela de Luna Gomes**, sua amizade foi um dos presentes mais lindos que já ganhei. Obrigada por compartilhar seus conhecimentos e me ajudar no que fosse preciso. Guardarei para sempre os momentos que passamos juntas no departamento.

**João Pedro Limírio**, que deixa o ambiente muito mais leve e feliz. Obrigada pela amizade e por ser essa pessoa sempre disposta a ajudar. Também guardarei para sempre os momentos que passamos juntos no departamento.

**Juliana Lujan Brunetto**, que nunca mediu esforços para ajudar quem precisasse. Obrigada por todo auxílio desde minha última iniciação científica até os momentos finais do mestrado.

**Letícia Cerri Mazza**, minha primeira parceira de pesquisa, me ajudou e compartilhou de muitos momentos bons em Araçatuba. Obrigada pelos conselhos e pelo incentivo de cursar o mestrado.

**Paulo Augusto Penitente**, que desde a graduação até o mestrado esteve ao meu lado. Foi muito bom ter você por perto em todos esses períodos. Obrigada por toda ajuda, por todas as conversas e principalmente pela amizade.

**João Paulo do Vale**, os momentos que passamos juntos no mestrado foram muito bons. Obrigada pelas risadas e pelas dicas compartilhadas.

**Isabela Veri, Hortencia Castro e Yasmin Siviero**, amizade que se mostrou forte independente da distância, sou muito feliz por ter vocês em minha vida. Contem sempre comigo.

Aos Ics,

**Amanda Dias**, com quem compartilhei esta linha de pesquisa, obrigada pelas inúmeras horas de análises, trocas de soluções, pela companhia e todo desenvolvimento para os resultados finais deste projeto.

**Beatryce Sanches**, pela oportunidade de ajudá-la em sua iniciação científica, agregando muito conhecimento e claro, muitos momentos bons, principalmente com a chegada do príncipe Henrique.

Aos demais ics com quem tive oportunidade de trabalhar, **Letícia Billoba, Leandro Bonfietti, Mateus Sampaio, Gabriel Sampaio, Júlia Nakazoni, Adriane Cheolin, Beatriz Marques e Roberta Kanda**.

Aos meus pais,



**José Ricardo da Costa Jorge e Rosa Márcia de Freitas Jorge**, por sempre me encorajarem a buscar meus sonhos, pela educação que me deram e principalmente por se abdicarem de muitas coisas por mim. Amo vocês.

Ao meu namorado,

**Matheus Silva Carneiro**, por compartilhar dos meus sonhos e sempre ser minha base. Obrigada por cada momento que passamos juntos e pelos muitos que ainda iremos passar. Te amo.

À toda minha pequena grande família **Freitas e Jorge**, que não somos muitos em número, mas somos muito em amor.

Avós, **Ivanilde Bertin Delquiario de Freitas, Zoraide Faria da Costa**.

Tios, **Paulo Jorge, Cristiane Jorge, Regina Freitas, Rosangela Freitas, Júnior Freitas, Renata Freitas, Leandro Gonçalves e Kleber Santos**.

Primos, **Priscila Freitas, Mariana Freitas, João Victhor Jorge, Pedro Henquire Freitas, João Guilherme Freitas e Beatriz Freitas**

Aos que já partiram,

**Luiz Jorge, Aristeu Freitas e Evanildo Jorge**.

À minha nova família,

**Cassia Carneiro, Claudeir Carneiro, Lucas Carneiro e Ana Luiza Martinez**.

E a **Deus**, por me abençoar em todos os momentos e por colocar pessoas tão especiais no meu caminho.

*“Muito mais importante que a quantidade de conhecimento que temos, é o que somos capazes de fazer com ele.”*

Marcio Kühne

*Resumo*

Jorge CF. Impacto dos selantes de superfície na preservação das propriedades mecânicas de polímeros de PMMA para CAD/CAM, submetidos a desafio erosivo e termociclagem [dissertação]. Araçatuba: Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista; 2021.

## RESUMO

A aplicação de selantes de superfície poderá ajudar na diminuição da degradação superficial dos blocos de PMMA para CAD/CAM frente aos desafios de absorção de água, variação de temperatura e desafio erosivo causada pelo suco gástrico (frequente em pacientes com refluxo gastroesofágico (DRGE) ou bulimia. Contudo, poucos estudos na área odontológica foram realizados com essas variáveis, sendo necessário o aprofundamento sobre o assunto. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes selantes de superfície (Biscovel LV e Palaseal) na preservação das propriedades mecânicas de polímero de PMMA para CAD/CAM, submetidos a termociclagem ( $T_1$  - 5.000 ciclos, de 5 e 55°C ;  $T_2$  - 10.000 ciclos, de 5 e 55°C) e desafio erosivo ( $DE_1$  - imersão em HCl 5% (pH=2,0) durante 45 horas e  $DE_2$  - 91 horas), por meio da rugosidade de superfície ( $R_a$ ), microdureza Knoop (MK), resistência flexural (RF) e módulo de elasticidade (ME). Foram confeccionados 90 espécimes quadrados (10x10x3 mm) para as análises de  $R_a$  e MK e 180 espécimes retangulares (25x2x2mm) para as análises de RF e ME. Os espécimes foram divididos em grupos ( $n=10$ ) de acordo com o tratamento de superfície e envelhecimento. Os polimentos realizados foram:  $P_A$  - pontas de borracha Astropol;  $P_A+S_B$  - polimento com  $P_A$  + aplicação de selante de superfície Biscover LV e  $P_A+S_P$  - polimento com  $P_A$  + aplicação de selante de superfície Palaseal. As análises foram realizadas após os tratamentos de superfície e após os períodos dos envelhecimentos. Os dados obtidos foram submetidos ao ANOVA (2 fatores), teste Bonferroni ( $\alpha=0,05$ ) e a análise de regressão linear simples. Na análise de  $R_a$ , em todos os períodos de termociclagem o grupo  $P_A$  obteve os maiores valores de  $R_a$  e  $P_A+S_P$  os menores, com diferença significativa entre eles ( $p<0,05$ ). De acordo com a análise de regressão linear, todos os grupos apresentaram tendência linear crescente. Já após  $DE_1$  e  $DE_2$  os três grupos diferiram estatisticamente entre si ( $p<0,05$ ), sendo classificados em ordem crescente de rugosidade em  $P_A+S_P < P_A+S_B < P_A$ . O grupo  $P_A+S_P$  manteve os valores de  $R_a$  no decorrer dos períodos de análises. Para RF, ocorreu diminuição significativa dos valores de RF do grupo  $P_A$  após  $T_1$  e  $T_2$ , diferindo estatisticamente dos demais grupos

( $p < 0.05$ ). O desafio erosivo diminuiu de forma significativa ( $p < 0.05$ ) os valores de RF dos grupos  $P_A$  e  $P_A+S_P$  após  $DE_1$  e, do grupo  $P_A+S_B$  após  $DE_2$ . Não houve diferenças significativas nas análises de MK e ME, independente dos tratamentos de superfície e envelhecimentos. Conclui-se que os selantes de superfície foram capazes de preservar a rugosidade de superfície e resistência flexural de polímero de PMMA para CAD/CAM submetidos a termociclagem ou desafio erosivo.

**Palavras-chave:** Desenho assistido por computador. PMMA. Resistência à flexão.

*Abstract*

Jorge CF. Impact of surface sealants on the preservation of mechanical properties of PMMA polymers for CAD/CAM, subjected to erosive challenge and thermocycling [dissertação]. Araçatuba: Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista; 2021.

## ABSTRACT

The application of surface sealants can help to reduce the surface degradation of PMMA blocks for CAD/CAM in the face of water absorption challenges, temperature variation and erosive challenge caused by gastric juice (common in patients with gastroesophageal reflux (DRGE) or bulimia). However, few studies in the field of dentistry have been conducted with these variables, requiring a more in-depth look at the subject. Therefore, the aim of this study was to evaluate the impact of different surface sealants (Biscovel LV and Palaseal) on the preservation of mechanical properties of PMMA polymer for CAD/CAM, subjected to thermocycling ( $T_1$  - 5,000 cycles, from 5 and 55°C;  $T_2$  - 10,000 cycles, from 5 to 55°C) and erosive challenge ( $DE_1$  - immersion in 5% HCl (pH=2.0) for 45 hours and  $DE_2$ -91 hours), through surface roughness (Ra), Knoop microhardness (MK), flexural strength (RF) and modulus of elasticity (ME). The Ra and MK analyzes and 180 rectangular specimens (25x2x2mm) for the RF and ME analyses. Specimens were divided into groups (n=10) according to surface treatment and aging. The polishes performed were:  $P_A$  - Astropol rubber tips;  $P_{A+S_B}$  -  $P_A$  polish + application of Biscovel LV surface sealant and  $P_{A+S_P}$  - polish with  $P_A$  + application of Palaseal surface sealant. Analyzes were performed after surface treatments and after aging periods. The data obtained were submitted to ANOVA (2 factors), Bonferroni test ( $\alpha=0.05$ ) and simple linear regression analysis. In the analysis of Ra, in all thermocycling periods, the  $P_A$  group had the highest values of Ra and  $P_{A+S_P}$  the lowest, with a significant difference between them ( $p<0.05$ ). According to the linear regression analysis, all groups showed an increasing linear trend. After  $DE_1$  and  $DE_2$ , the three groups differed statistically from each other ( $p<0.05$ ), being classified in ascending order of roughness in  $P_{A+S_P} < P_{A+S_B} < P_A$ . The  $P_{A+S_P}$  group maintained the Ra values throughout the analysis periods. For RF, there was a significant decrease in the RF values of the  $P_A$  group after  $T_1$  and  $T_2$ , differing statistically from the others groups ( $p<0.05$ ). The erosive challenge significantly decreased ( $p<0.05$ ) the RF values of the  $P_A$  and  $P_{A+S_P}$  groups after  $DE_1$  and of the  $P_{A+S_B}$  group after  $DE_2$ . There were no significant differences in the MK and ME

analyses, regardless of surface treatments and aging. It was concluded that the surface sealants were able to preserve the surface roughness and flexural strength of PMMA polymer for CAD/CAM submitted to thermocycling or erosive challenge.

**Keywords:** Computer-aided design. Polymethyl methacrylate. Flexural Strength.



*Listas*

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 - Delineamento experimental contendo material, tratamentos de superfícies, envelhecimentos, distribuição, número dos espécimes e variáveis respostas. 28

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 -	Média e Desvio Padrão da Ra (nm) após termociclagem*. ( $P < 0,05$ )	35
GRÁFICO 2 -	Regressão linear simples entre termociclagem e Ra.	36
GRÁFICO 3 -	Média e Desvio Padrão da MK (nm) após termociclagem*. ( $P < 0,05$ )	37
GRÁFICO 4 -	Regressão linear simples entre termociclagem e MK.	37
GRÁFICO 5 -	Média e Desvio Padrão da RF (nm) após termociclagem*. ( $P < 0,05$ )	38
GRÁFICO 6 -	Regressão linear simples entre termociclagem e RF.	39
GRÁFICO 7 -	Média e Desvio Padrão da ME (nm) após termociclagem*. ( $P < 0,05$ )	39
GRÁFICO 8 -	Regressão linear simples entre termociclagem e ME.	40
GRÁFICO 9 -	Média e Desvio Padrão da RA (nm) após desafio erosivo*.	41
GRÁFICO 10 -	Regressão linear simples entre desafio erosivo e Ra.	41
GRÁFICO 11 -	Média e Desvio Padrão da MK (nm) após desafio erosivo*.	42
GRÁFICO 12 -	Regressão linear simples entre desafio erosivo e MK.	43
GRÁFICO 13 -	Média e Desvio Padrão da RF (nm) após desafio erosivo*.	44
GRÁFICO 14 -	Regressão linear simples entre desafio erosivo e RF.	44
GRÁFICO 15 -	Média e Desvio Padrão da ME (nm) após desafio erosivo*.	45
GRÁFICO 16 -	Regressão linear simples entre desafio erosivo e ME	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Materiais que foram utilizados no presente estudo	27
TABELA 2 -	ANOVA 2 fatores para Ra após termociclagem	35
TABELA 3 -	ANOVA 2 fatores para MK após termociclagem	36
TABELA 4 -	ANOVA 2 fatores para RF após termociclagem	38
TABELA 5 -	ANOVA 2 fatores para ME após termociclagem	39
TABELA 6 -	ANOVA 2 fatores para Ra após desafio erosivo	40
TABELA 7 -	ANOVA 2 fatores para MK após desafio erosivo	42
TABELA 8 -	ANOVA 2 fatores para RF após desafio erosivo	43
TABELA 9 -	ANOVA 2 fatores para ME após desafio erosivo	45

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

Å	Angström
ADA	<i>American Dental Association</i>
CAD/CAM	<i>Computer-aided design/computer-aided manufacturing</i>
DE	Desafio erosivo
DRGE	Pacientes com refluxo gastroesofágico
g	Gramas
GPa	Giga pascoal
HCL	Ácido Clorídrico
ME	Módulo de Elasticidade
MK	Microdureza Knoop
MPa	Mega Pascoal
N	Newtons
P <sub>A</sub>	Polimento Astropol
PMMA	Polimetilmetacrilato
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
Ra	Rugosidade de superfície
RF	Resistência Flexural
S <sub>B</sub>	Selante de superfície Biscover
S <sub>P</sub>	Selante de superfície Pala
T	Termociclagem



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVO	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Delineamento Experimental	26
3.2 Formação dos Grupos	26
3.3 Fabricação dos espécimes	29
3.3.1 Acabamento e Polimento dos espécimes	29
3.4 Tratamentos de superfície	29
3.4.1 Polimento pontas Astropol (controle) ( $P_A$ )	29
3.4.2 Polimento pontas Astropol + Selante de superfície Biscover LV ( $P_A+S_B$ )	29
3.4.3 Polimento pontas Astropol + Selante de superfície Palaseal ( $P_A+S_p$ )	30
3.5 Varáveis Respostas	30
3.5.1 Rugosidade de Superfície ( $R_a$ )	30
3.5.2 Microdureza Knoop	31
3.5.3 Resistência Flexional	31
3.5.4 Módulo de Elasticidade	31
3.6 Envelhecimentos	32
3.6.1 Termociclagem	32
3.6.2 Desafio Erosivo	32
3.7 Período de Análises	32
3.8 Planejamento Estatístico	33
4 RESULTADOS	35
4.1 Resultados Termociclagem	35
4.2 Resultados Desafio Erosivo	40
5 DISCUSSÃO	48
6 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	59

*Introdução*



## 1 INTRODUÇÃO

As restaurações provisórias são essenciais para o sucesso do tratamento com Próteses Fixas, sendo necessárias para proteger as superfícies dentárias frente aos efeitos biológicos, físicos e mecânicos até a instalação das próteses definitivas (1,2). Sendo assim, a escolha adequada do material usado para confecção dessas restaurações tornou-se uma etapa importante da reabilitação protética. Com evolução constante dos materiais restauradores provisórios foram desenvolvidos polímeros de polimetil-metacrilato (PMMA) para confecção de restaurações provisórias pelo sistema CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*). Esses blocos são polimerizados industrialmente sob condições padronizadas de alta temperatura e pressão, evitando o alto calor da polimerização e, conseqüentemente, a sua reação de contração, o que resulta em melhores propriedades químicas, mecânicas e estéticas (2,3,4). São indicados para confecção de restaurações provisórias para uso prolongado (4-8), especialmente em reabilitações complexas, que envolvem tratamentos multidisciplinares, que incluem restabelecimento da dimensão vertical de oclusão (DVO), terapia com implantes dentários e tratamento de DTM (2,7).

As restaurações provisórias devem preservar suas características mecânicas e estéticas durante o uso clínico (1,9). Quanto maior o período de utilização das restaurações provisórias, maior será sua degradação na cavidade bucal e, conseqüentemente, poderão ocorrer falhas como manchamento, desgastes em áreas críticas, perda da integridade marginal e, principalmente, fraturas catastróficas (2,10). Os materiais provisórios para CAD/CAM também sofrem degradação no meio bucal. A degradação das resinas para provisórios é multifatorial, sendo assim, diversos fatores irão influenciar na durabilidade das restaurações provisórias, tais como, absorção de água, mudança de temperatura, higiene oral, e ingestão de bebidas corantes (2,10). Além desses fatores, o pH ácido também pode provocar a degradação dos materiais restauradores. Em virtude disso, as causas e os efeitos da erosão ácida provocada pelo ácido gástrico sobre materiais restauradores se tornaram tema de grande interesse na Odontologia (11-15). O ácido gástrico é composto principalmente de ácido clorídrico (HCl), tem um pH extremamente baixo ( $\leq 2,0$ ) e grande capacidade erosiva (11,13). A exposição ao ácido ocorre frequentemente em pacientes com doença do refluxo gastroesofágico (DRGE) ou

transtornos alimentares (anorexia e bulimia nervosa) (12,11).

Todos esses fatores de degradação possuem relação direta com a qualidade de superfície do material (16,17), diante disso, várias técnicas foram desenvolvidas para o polimento de materiais provisórios, normalmente, são utilizadas pedras abrasivas com granulação em ordem decrescente, associadas ou não a pasta de óxido de alumínio (16,17). A literatura tem mostrado que a rugosidade superficial afeta negativamente as propriedades mecânicas e ópticas dos materiais restauradores (18, 19), pois superfícies ásperas/rugosas estão diretamente relacionadas com maior risco de acúmulo de biofilme, doença periodontal, cárie secundária e pigmentação (6). Em relação as propriedades mecânicas, superfícies rugosas reduzem a resistência mecânica dos materiais restauradores (ocasiona a criação e propagação de microfissuras) aumentando a risco de fratura. Por essas razões, é de fundamental importância proteger a superfície desses materiais da degradação no meio bucal e, dessa forma, aumentar o tempo de uso clínico dos provisórios.

Recentemente, os selantes de superfície estão sendo usados para polir, preservar ou melhorar as propriedades mecânicas e estéticas dos materiais restauradores (15). Esses selantes são compostos de resinas fluídas com pouca ou nenhuma carga. Foram introduzidos para minimizar a porosidade da superfície e obter superfícies lisas, esses materiais irão preencher os defeitos e irregularidades da superfície, prevenir a microinfiltração, melhorar a vedação marginal, aumentar resistência mecânica e melhorar a resistência a manchas (20-22).

No entanto, a eficácia dos selantes em melhorar a qualidade das superfícies dos materiais provisórios a longo prazo ainda é controversa e incerta, uma vez que foram relatos problemas como baixa resistência a abrasão, formação de camada não uniforme, fraca retenção ao material subjacente, apresentando descolamento do material e criando assim textura rugosa, vulnerável a manchas e a descoloração (11).

Embora existam várias pesquisas publicadas sobre as propriedades mecânicas dos polímeros de PMMA para CAD/CAM, nenhum estudo avaliou se os selantes de superfície têm efeito de preservar ou melhorar as propriedades mecânicas desses materiais, frente a desafios erosivos (HCL- pH  $\cong$  2).

*Objetivo*

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes selantes de superfície (Biscovel LV e Palaseal) na preservação das propriedades mecânicas de polímero de PMMA para CAD/CAM, submetidos a termociclagem ( $T_1$  - 5.000 ciclos, de 5 e 55°C e  $T_2$  - 10.000 ciclos) e desafio erosivo ( $DE_1$  - imersão em HCl 5% (pH 2,0) durante 45 horas e ( $DE_2$ ) - 91 horas), por meio da rugosidade de superfície (Ra), microdureza Knoop (MK), resistência flexural (RF) e módulo de elasticidade (ME).

A hipótese nula testada foi de que nenhum dos diferentes selantes de superfície promoverá alterações nas características mecânicas do polímero de PMMA para CAD/CAM, independentemente da termociclagem ou desafio erosivo.

*Materiais e Métodos*

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Delineamento Experimental**

O estudo teve três fatores em análise: (1) tratamentos de superfície (P<sub>A</sub>: pontas Astropol, S<sub>B</sub>: selante de superfície Biscover e S<sub>P</sub>: selante de superfície Palaseal); (2) envelhecimentos: (2.1) Temociclagem (T): 5.000 ciclos, de 5 e 55°C (T<sub>1</sub>) e 10.000 ciclos, de 5 e 55°C (T<sub>2</sub>); (2.2) Desafio Erosivo (DE): imersão em HCl 5% (pH 2,0) durante 45 horas (DE<sub>1</sub>) e 91 horas (DE<sub>2</sub>); e (3) tempos de análises em 4 níveis: T<sub>0</sub> - após armazenamento em água destilada por 24 horas, após T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, DE<sub>1</sub>, DE<sub>2</sub>. Foram consideradas 4 variáveis de resposta: (1) rugosidade de superfície (Ra), (2) microdureza Knoop (MK), (3) resistência flexional (RF) e (4) módulo de elasticidade (ME).

#### **3.2 Formação dos Grupos**

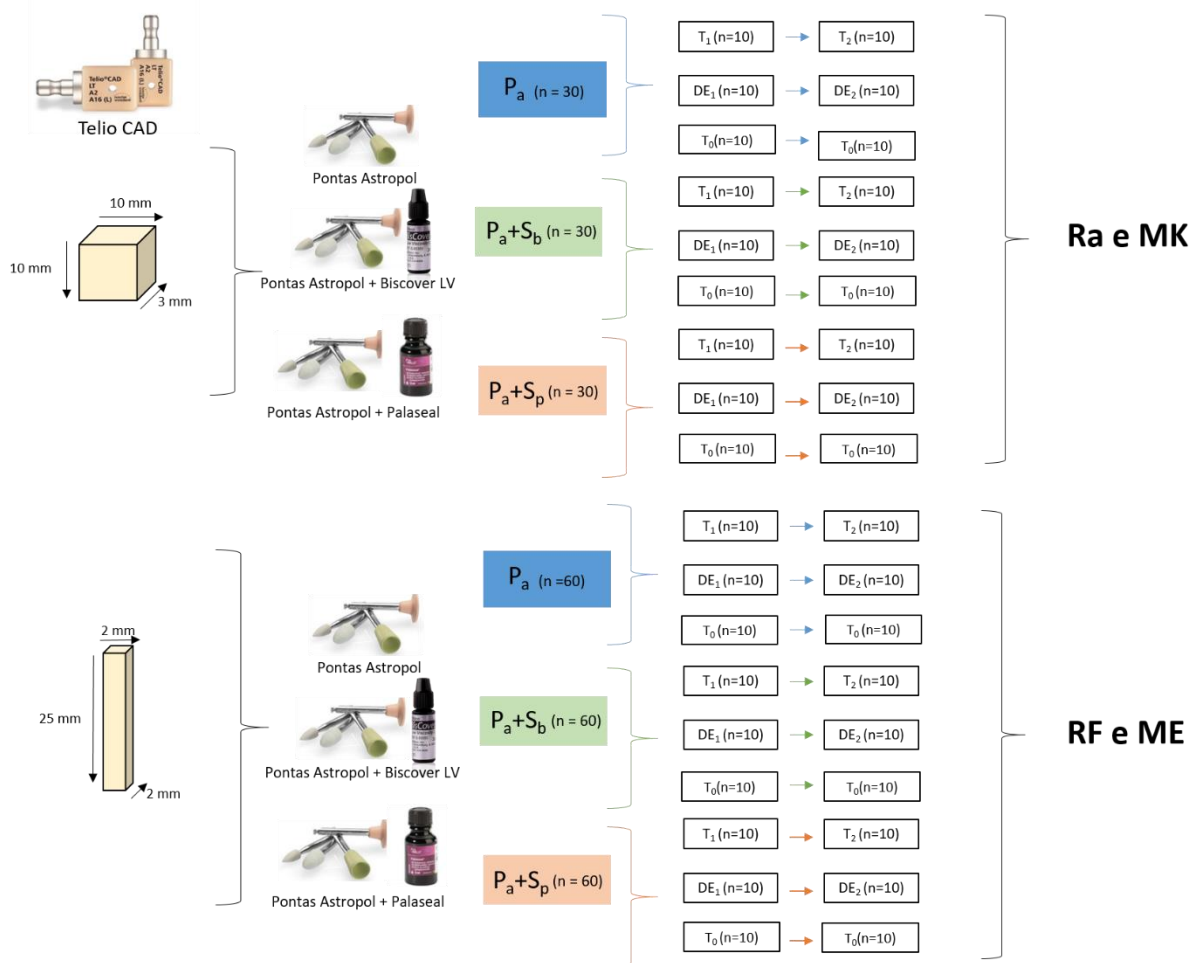
Os materiais que foram utilizados no presente estudo estão descritos na Tabela 1. Para as análises de Ra e MK foram confeccionados 90 espécimes quadrados com dimensões de 10×10×3 mm<sup>5</sup>. Para as análises de RF e ME foram 180 espécimes retangulares com dimensões de 25×2×2 mm<sup>7</sup>, que foram avaliados no presente estudo conforme análises descritas na Figura 1.

**Tabela 1.** Materiais que foram utilizados no presente estudo

<b>Material</b>	<b>Composição</b>	<b>Marca comercial</b>	<b>Fabricante</b>
<b>Bloco de resina acrílica (PMMA) para sistema CAD/CAM</b>	99.5% polímero de PMMA	Telio CAD	<b>Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein</b>
<b>Pontas siliconadas impregnadas de diamantes</b>	Óxido de alumínio, partículas de carboneto de silício, partículas de diamante, dióxido de titânio e óxido de ferro. Ponta verde 45µm, cinza 1µm e rosa 03 µm	Astropol F, P e H	<b>Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein</b>
<b>Selante de superfície</b>	Dimetacrilato de etoxilato de bisfenol, acrilato de éster de uretano, polietilenoglicol acrilato	BisCover LV	<b>Bisco Inc., Schaumburg, IL, EUA</b>
<b>Selante de superfície</b>	MMA, THEICTA, oligômero, epóxiacrilizado e polissiloxano	<b>Palaseal</b>	<b>Kulzer, Hanau, Alemanha</b>

Fonte: Autor, 2021

**Figura 1.** Delineamento experimental contendo material, tratamentos de superfícies, envelhecimentos, distribuição, número dos espécimes e variáveis respostas.



Fonte: Autor, 2021



### **3.3 Fabricação dos espécimes**

Os blocos pré-fabricados de PMMA (Telio CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) foram fresados com disco de corte diamantado em baixa rotação (300 rpm), sob irrigação abundante e carga de 300g/f em cortadeira metalográfica (Isomet® 1000, Buehler, Illinois, USA), de forma que foram obtidos 90 espécimes de 10×10×3 ( $\pm 0.5$ ) mm e 180 espécimes de 25×2×2 ( $\pm 0.5$ ).

#### **3.3.1 Acabamento e Polimento dos espécimes**

Após segmentados, os espécimes foram submetidos a acabamento para remoção das irregularidades das bordas e/ou os excessos, com auxílio de um micromotor (Kavo, Joinville, SC, Brasil) e broca minicut (Edenta, Hauptstrasse, Suíça). Em seguida, os espécimes foram levados para banho em lavadora ultrassônica (Unique USC 2850, São Paulo, Brasil) por 10 minutos em água destilada e, então, secados à ar. Foram realizadas três mensurações da altura, largura e espessura com um paquímetro digital (Paquímetro Digital Digimatic, Mitutoyo Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brasil). Em seguida, foram realizados os tratamentos de superfícies propostos no estudo.

### **3.4 Tratamentos de superfície**

**3.4.1 Polimento pontas Astropol (controle) (P<sub>A</sub>):** foi realizado apenas o polimento com as pontas Astropol F, P e HP nos espécimes (controle positivo), conforme a sequência de três passos: Passo 1 - acabamento com Astropol F (cinza), passo 2 - polimento com Astropol P (verde) e passo 3 - polimento com Astropol HP (rosa). Cada ponta foi aplicada sobre a superfície do espécime por 20 segundos com pressão intermitente, com movimentos ligeiramente rotativos, depois levados para banho em lavadora ultrassônica (Unique USC 2850, São Paulo, Brasil) por 10 minutos em água destilada e, então, secados à ar.

**3.4.2 Polimento pontas Astropol + Selante de superfície Biscover LV (P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub>):** após o polimento com Astropol F, P e HP, foi aplicada uma fina camada do selante BisCover LV, com pincel fino e macio, esse foi mergulhado no

conteúdo e removido os excessos, sendo aplicado em uma só direção com toque suave, para que apenas uma camada fina e homogênea ficasse sobre a superfície do espécime. Depois, foi aguardado o tempo de 15 segundos para o início da fotopolimerização com lâmpada de LED (Bluephase N, Ivoclar Vivadent) por 30 segundos a uma curta distância (0-2mm).

**3.4.3 Polimento pontas Astropol + Selante de superfície Palaseal (P<sub>A</sub>+S<sub>p</sub>):** após polimento com Astropol F, P e HP, foi aplicada uma fina camada do selante Palaseal conforme descrito anteriormente para o outro selante. No entanto, nesse caso foi aguardado o tempo de exposição de aproximadamente 20 segundos para o início de uma fotopolimerização com lâmpada de LED (Bluephase N, Ivoclar Vivadent) por 90 segundos a uma curta distância (0-2mm).

Após os tratamentos de superfícies todos os espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas. Em seguida foi realizada a leitura inicial das variáveis respostas do estudo ( $T_0$  = leitura inicial).

## 3.5 Varáveis Respostas

### 3.5.1 Rugosidade de Superfície (Ra)

A leitura de rugosidade de superfície (n=10) foi determinada por meio de rugosímetro portátil sj-401 (Mitutoyo, Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brasil). As leituras foram realizadas por um mesmo operador. Cada espécime foi individualmente posicionado no centro do equipamento e a ponta medidora do rugosímetro na superfície do mesmo. Aleatoriamente foi realizada a leitura no centro do espécime, e duas leituras paralelas, à direita e à esquerda desse centro sendo a média calculada após essas três leituras. Os valores de Ra (média aritmética da rugosidade de superfície) foram mensurados com varredura de 300  $\mu\text{m}$ , no tempo constante de 12 segundos. Os valores originais foram em Angström (Å) e, a partir de então, foram transformados para a escala nanométrica (nm).

### 3.5.2 Microdureza Knoop

Para a análise da microdureza Knoop (MK) (n=10), os espécimes foram submetidos a leituras em microdurômetro (HVM 2000 Shimadzu, Tokyo, Japão), com carga estática de 100 g por 15 segundos. Em cada tempo de análise, foram realizadas três endentações na região central do espécime com distância de 100 µm entre cada endentação e o valor da MK de cada espécime foi estipulado pela média destes valores.

### 3.5.3 Resistência Flexional

O ensaio de resistência flexural (RF) (n=10) por três pontos foi realizado em uma máquina universal de ensaios (Emic DL 2000®, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil), com uma célula de carga de 200 N. Os espécimes foram dispostos horizontalmente em contato com as hastes paralelas entre si de um suporte metálico e, em seguida, a máquina foi acionada com uma velocidade de 5 mm/min. A porção móvel da máquina incidiu sua força perpendicularmente na região central dos corpos-de-prova até ocorrer fratura, seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma da ADA, especificação n.º 27(2,5).

A resistência flexural foi obtida em Newtons e calculada em Megapascal (MPa) por meio da seguinte fórmula (1):  $p = 3fl/2bh^2$ .

Em que:

- p = Resistência flexural em Megapascal
- f = carga de fratura, em Newtons, aplicada sobre o espécime
- l = distância entre os suportes; em milímetros
- b = largura do espécime; em milímetros
- h = espessura do espécime, em milímetros

As medidas de cada espécime foram aferidas previamente ao ensaio de flexão.

### 3.5.4 Módulo de Elasticidade

Os valores do módulo de elasticidade (ME) (n=10) foram realizados simultaneamente com o ensaio de resistência flexional, em Mpa, foram calculados pela seguinte fórmula (2):  $ME = [ ( fl^3 ) / ( 4bh^3d ) ]$

Onde:

f é a carga aplicada em N

d é a deflexão causada pela carga f em mm

l, b, h são as variáveis definidas na fórmula 1.

Depois, os valores obtidos em Mpa foram transformados em Gpa.

## **3.6 Envelhecimentos**

### **3.6.1 Termociclagem (T)**

Os espécimes desses grupos foram submetidos a diferentes ciclos de termociclagem (5 mil ciclos que corresponde a 6 meses de uso clínico (T<sub>1</sub>) e 10 mil ciclos que corresponde a 1 ano de uso clínico (T<sub>2</sub>) (23,24)), variando a temperatura entre 5 e 55°C por 30 segundos.

### **3.6.2 Desafio Erosivo (DE)**

Os espécimes desses grupos foram submetidos a diferentes períodos em imersão em HCl a 5% (45 horas que corresponde a 6 meses de exposição clínica ao ácido clorídrico (DE<sub>1</sub>) e 91 horas que corresponde a 1 ano de exposição clínica ao ácido clorídrico (DE<sub>2</sub>) (12,13). Durante o desafio erosivo, os espécimes foram posicionados no interior de placas de 24 poços devidamente fechados com o objetivo de evitar a evaporação do HCl e mantidas em estufa com 37±1°C. Cada poço recebeu 2 mL de HCl à 5% até o completo recobrimento do espécime.

## **3.7 Período de Análises**

As variáveis respostas foram realizadas em 3 tempos distintos, sendo eles: (T<sub>0</sub>- após 24 horas em água destilada (inicial), após T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, DE<sub>1</sub>, DE<sub>2</sub>).

### **3.8 Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos ao Anova (2 fatores) e teste Bonferroni com nível de significância de 5%. A análise de Regressão Linear Simples foi realizada para avaliação do comportamento dos espécimes ao longo dos envelhecimentos.

*Resultados*

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resultados após Termociclagem

De acordo com a análise de variância ANOVA, a termociclagem e os tratamentos de superfície afetaram significativamente a Ra ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2).

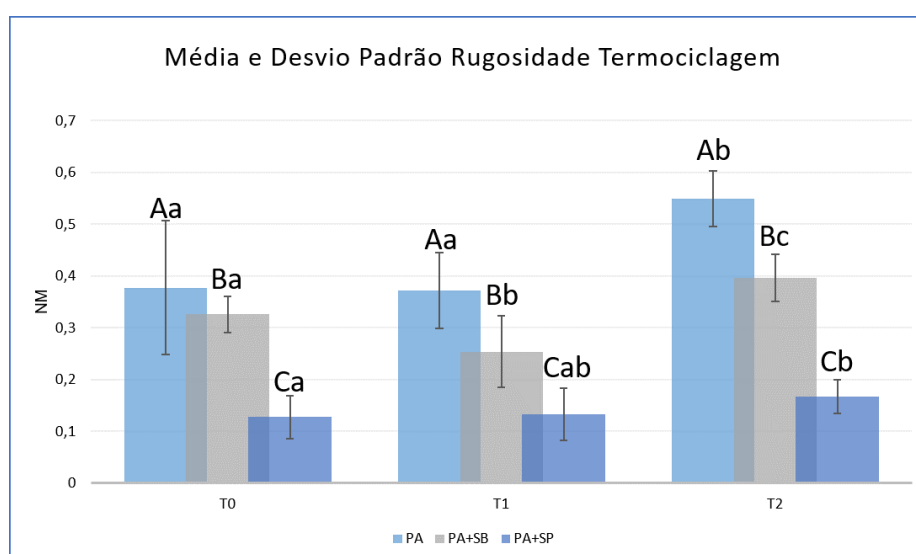
**Tabela 2– ANOVA 2 fatores para Ra após termociclagem**

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Termociclagem	Linear	,132	1	,132	191,784	,000
	Quadratic	,103	1	,103	59,760	,000
Termociclagem * Polimento	Linear	,047	2	,023	33,937	,000
	Quadratic	,033	2	,016	9,589	,001
Error(TEMPO)	Linear	,019	27	,001		
	Quadratic	,046	27	,002		

Fonte: Autor, 2021

Em todos os períodos o grupo P<sub>A</sub> obteve os maiores valores de Ra e P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub> os menores, com diferença significativa entre eles ( $p < 0,05$ ). Sendo classificados em ordem crescente de rugosidade em P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub> < P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> < P<sub>A</sub>. Após T<sub>1</sub> ocorreu diminuição significativa da Ra do grupo P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub>. Já após T<sub>2</sub> houve aumento significativo da Ra nos grupos P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> e P<sub>A</sub>.

**GRÁFICO 1 - Média e Desvio Padrão da Ra (nm) após termociclagem\*. ( $P < 0,05$ )**

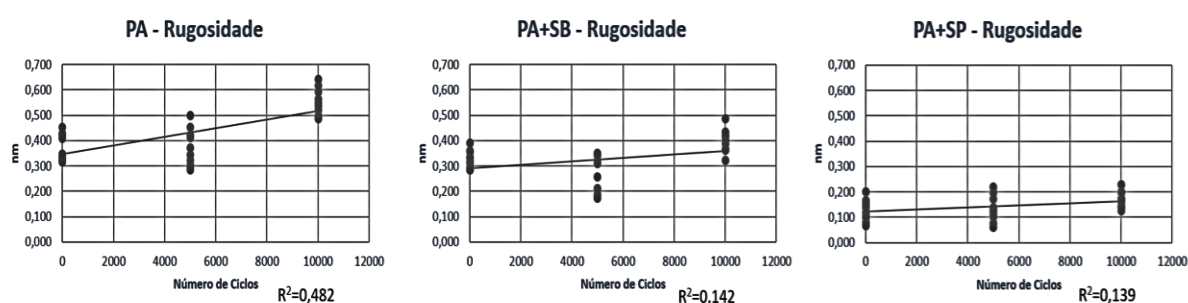


\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 2), todos os grupos apresentaram tendência linear crescente, ou seja, a Ra aumentou no decorrer da termociclagem. O grupo P<sub>A</sub> apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,482$ ), isto é, 48,2% da variabilidade da Ra pôde ser explicada pela termociclagem. Já os grupos P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> e P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub> obtiveram menores coeficientes de determinação, respectivamente: 0,142 e 0,139.

**GRÁFICO 2 – Regressão linear simples entre termociclagem e Ra.**



Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de variância ANOVA, a termociclagem e os tratamentos de superfície não afetaram significativamente a MK ( $p>0,05$ ) (Tabela 3).

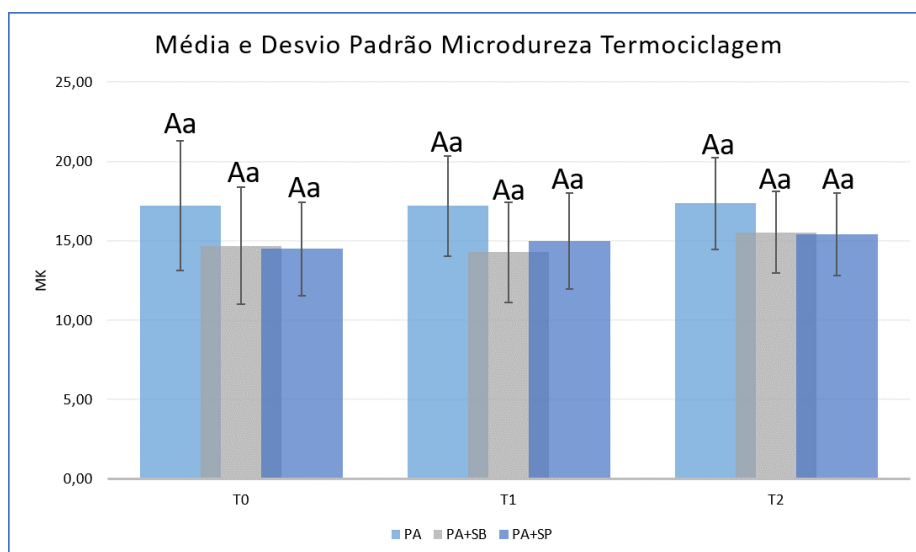
**Tabela 3 – ANOVA 2 fatores para MK após termociclagem**

Source	tempo	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Termociclagem	Linear	8,170	1	8,170	4,106	,053
	Quadratic	2,445	1	2,445	3,378	,077
Termociclagem * Polimento	Linear	2,931	2	1,466	,737	,488
	Quadratic	4,165	2	2,083	2,877	,074
Error(tempo)	Linear	53,721	27	1,990		
	Quadratic	19,547	27	,724		

Fonte: Autor, 2021



**GRÁFICO 3 - Média e Desvio Padrão da MK após termociclagem\*. ( $P<0,05$ )**

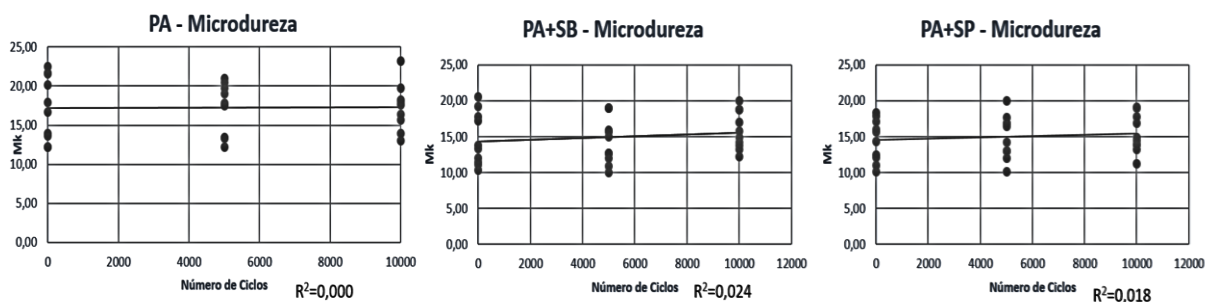


\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P<0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 4), não houve correlação entre termociclagem e MK. Todos os grupos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos ou iguais a zero.

**GRÁFICO 4 - Regressão linear simples entre termociclagem e MK**



Fonte: Autor, 2021

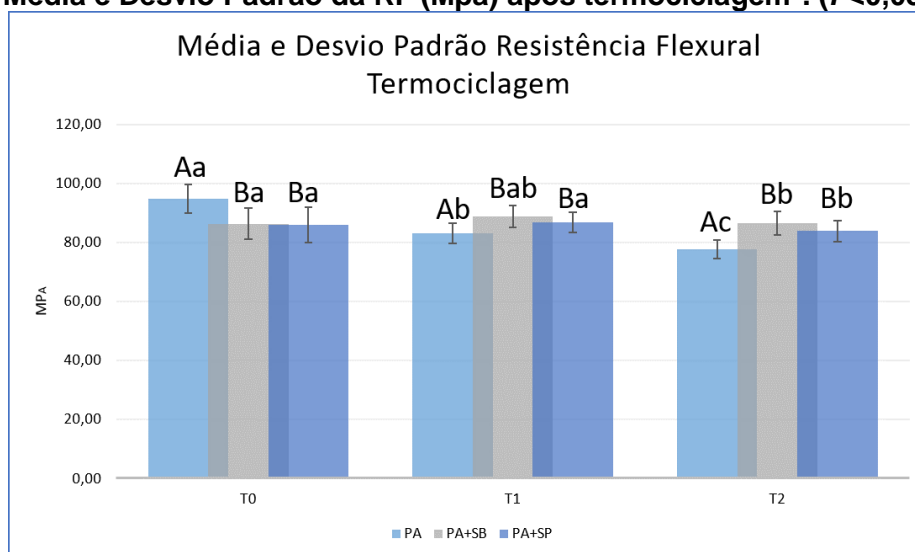
De acordo com a análise de variância ANOVA, a termociclagem e os tratamentos de superfície afetaram significativamente a RF ( $p<0,05$ ) (Tabela 4).

**Tabela 4 – ANOVA 2 fatores para RF após termociclagem**

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Termociclagem	Linear	758,708	1	758,708	101,183	,000
	Quadratic	4,263	1	4,263	,680	,417
Termociclagem * POLIMENTO	Linear	396,386	2	198,193	26,431	,000
	Quadratic	73,520	2	36,760	5,862	,008
Error(TEMPO)	Linear	202,456	27	7,498		
	Quadratic	169,316	27	6,271		

Fonte: Autor, 2021

Ocorreu diminuição significativa dos valores de RF do grupo P<sub>A</sub> após T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, diferindo estatisticamente dos demais grupos (p<0,05). A termociclagem não influenciou nos valores de RF dos grupos que receberam selantes, visto que os grupos P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> e P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub> obtiveram os maiores valores de RF após T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, não diferiram estatisticamente entre si (p>0,05).

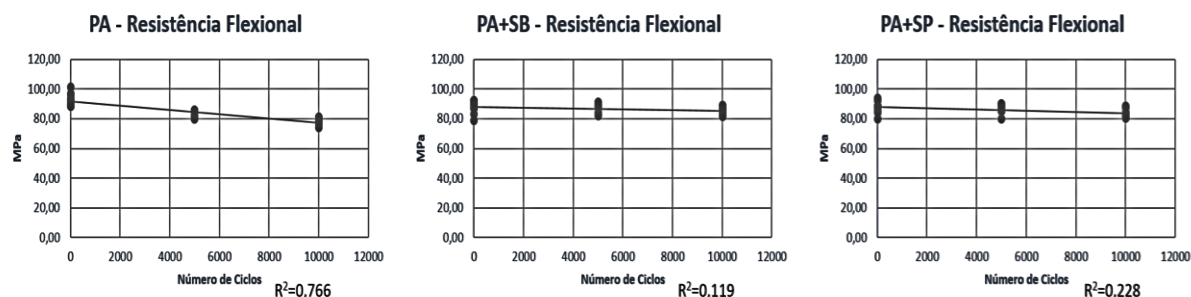
**GRÁFICO 5 - Média e Desvio Padrão da RF (Mpa) após termociclagem\*. (P<0,05)**

\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos (P<0,05).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 6), todos os grupos apresentaram tendência linear decrescente, ou seja, a RF diminuiu no decorrer da termociclagem. O grupo P<sub>A</sub> apresentou alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,766$ ), isto é, 76,6% da variabilidade da Ra pôde ser explicada pela termociclagem. Já os grupos P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> e P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub> obtiveram baixos coeficientes de determinação, respectivamente: 0,119 e 0,228.

GRÁFICO 6 - Regressão linear simples entre termociclagem e RF



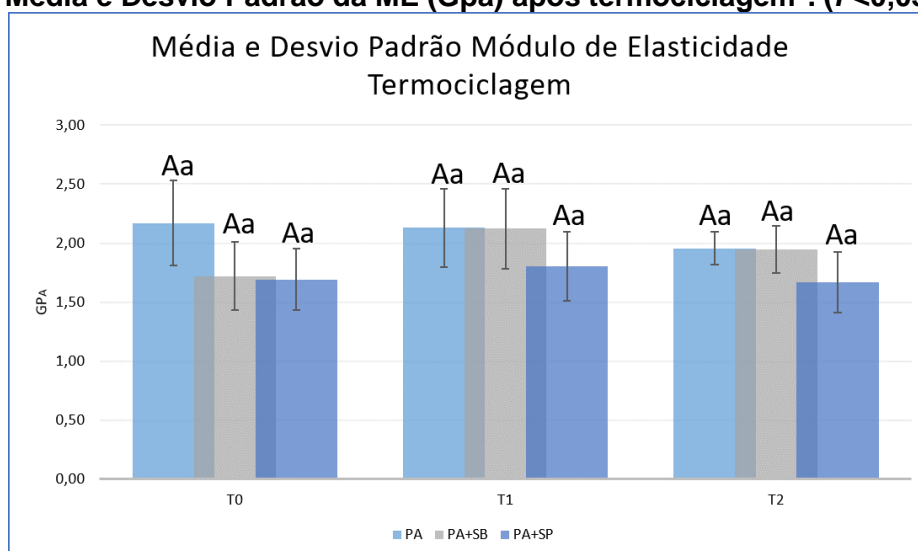
Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de variância ANOVA a termociclagem e os tratamentos de superfície não afetaram significativamente o ME ( $p>0,05$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 – ANOVA 2 fatores para ME após termociclagem

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Termociclagem	Linear	,025	1	,025	,270	,608
	Quadratic	,185	1	,185	1,604	,216
Termociclagem * POLIMENTO	Linear	,053	2	,026	,292	,749
	Quadratic	,143	2	,071	,618	,546
Error(TEMPO)	Linear	2,451	27	,091		
	Quadratic	3,120	27	,116		

Fonte: Autor, 2021

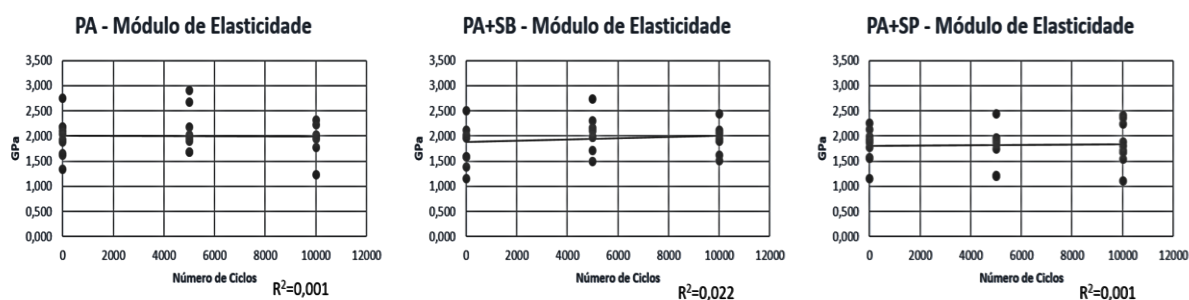
GRÁFICO 7 - Média e Desvio Padrão da ME (Gpa) após termociclagem\*. ( $P<0,05$ )

\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P<0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 8), não houve correlação entre termociclagem e ME. Todos os grupos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a zero.

### GRÁFICO 8 - Regressão linear simples entre termociclagem e ME



Fonte: Autor, 2021

## 4.2 Resultados após Desafio Erosivo

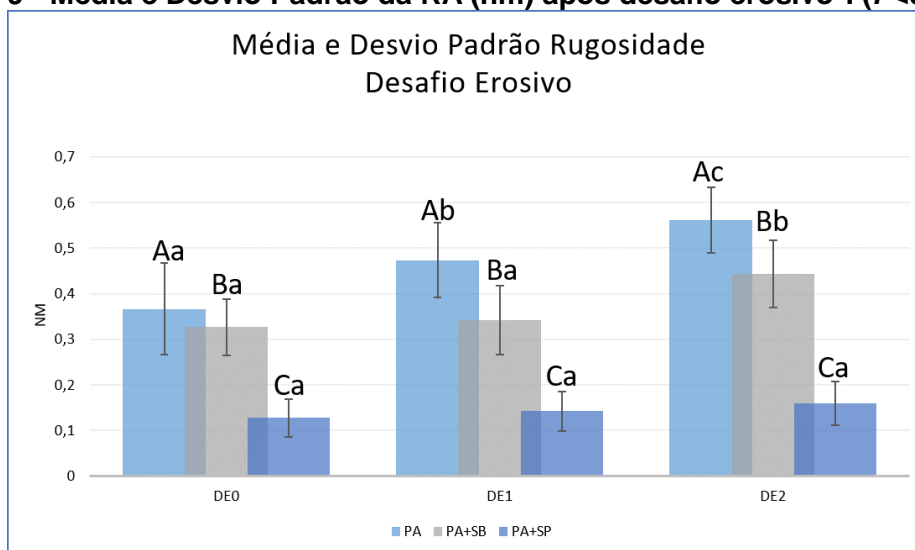
De acordo com a análise de variância ANOVA, o desafio erosivo e os tratamentos de superfície afetaram significativamente a  $R_a$  ( $p < 0,05$ ) (Tabela 6).

**Tabela 6 – ANOVA 2 fatores para  $R_a$  após desafio erosivo**

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Desafio erosivo	Linear	,185	1	,185	108,529	,000
	Quadratic	,004	1	,004	4,217	,050
Desafio erosivo * Polimento	Linear	,059	2	,029	17,190	,000
	Quadratic	,009	2	,005	5,482	,010
Error(TEMPO)	Linear	,046	27	,002		
	Quadratic	,023	27	,001		

Fonte: Autor, 2021

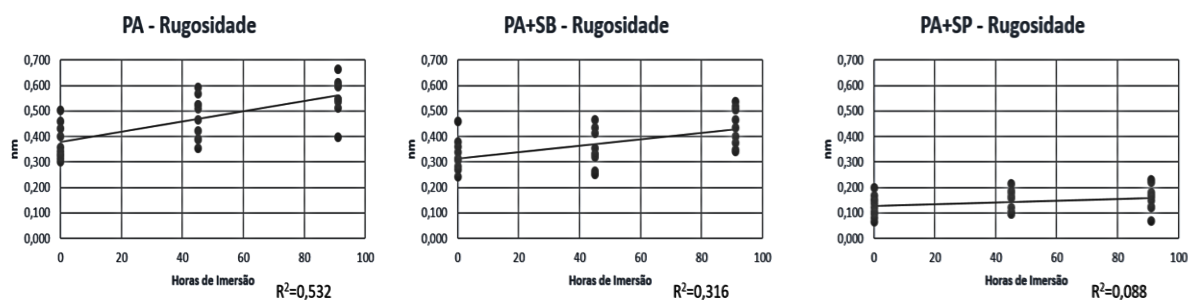
Houve aumento significativo da  $R_a$  no grupo  $P_A$  em todos os períodos e após  $DE_2$  no grupo  $P_A+S_B$  ( $p < 0,05$ ). Não ocorreu alteração significativa da  $R_a$  no grupo  $P_A+S_P$  nos diferentes períodos de análise ( $p > 0,05$ ). Os três grupos diferiram estatisticamente entre si nos três períodos ( $p < 0,05$ ), sendo classificados em ordem crescente de rugosidade em  $P_A+S_P < P_A+S_B < P_A$ .

**GRÁFICO 9 - Média e Desvio Padrão da RA (nm) após desafio erosivo\*. ( $P<0,05$ )**

\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P<0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 2), os grupos  $P_A$  e  $P_{A+SB}$  apresentaram tendência linear crescente, ou seja, a  $R_a$  aumentou no decorrer do desafio erosivo. Obtiveram coeficientes de determinação ( $R^2$ ), respectivamente: 0,532 e 0,316. Já o grupo  $P_{A+SP}$ , além de apresentar os menores valores de coeficientes de determinação ( $R^2= 0,088$ ), se manteve estável no decorrer dos períodos de análises.

**GRÁFICO 10 - Regressão linear simples entre desafio erosivo e  $R_a$** 

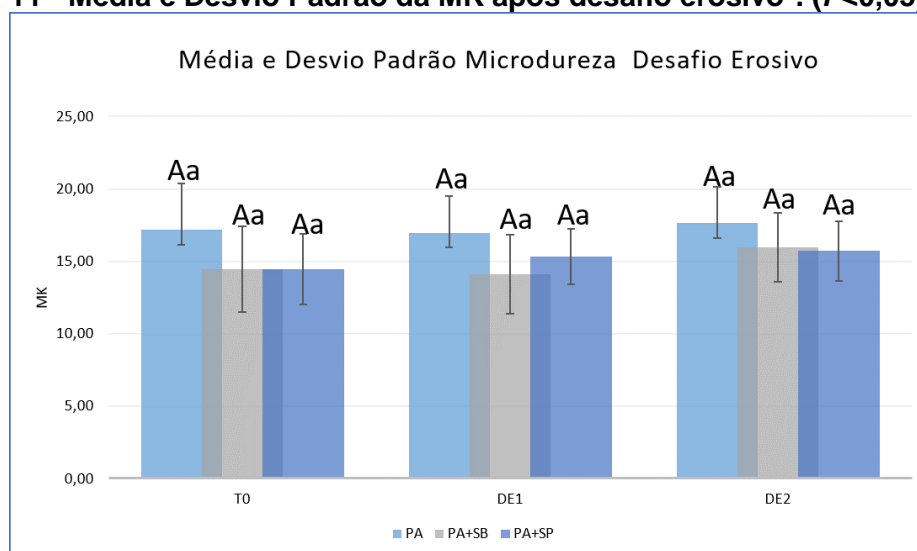
Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de variância ANOVA, o desafio erosivo e os tratamentos de superfície ( $P_A$ ;  $P_{A+SB}$  e  $P_{A+SP}$ ) não afetaram significativamente a MK ( $p>0,05$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7 – ANOVA 2 fatores para MK após desafio erosivo**

Source	Tempo	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Desafio erosivo	Linear	17,648	1	17,648	8,735	,076
	Quadratic	3,687	1	3,687	8,849	,076
Desafio erosivo * Polimento	Linear	3,079	2	1,539	,762	,477
	Quadratic	5,805	2	2,902	6,966	,004
Error(Tempo)	Linear	54,549	27	2,020		
	Quadratic	11,249	27	,417		

Fonte: Autor, 2021

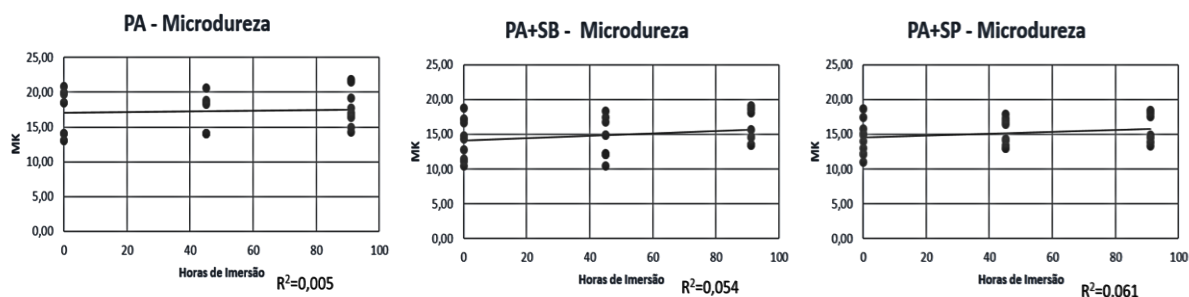
**GRÁFICO 11 - Média e Desvio Padrão da MK após desafio erosivo\*. ( $P < 0,05$ )**

\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 12), não houve correlação entre desafio erosivo e MK. Todos os grupos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a zero.

GRÁFICO 12 - Regressão linear simples entre desafio erosivo e MK



Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de variância ANOVA, o desafio erosivo e os tratamentos de superfície afetaram significativamente a RF ( $p < 0,05$ ) (Tabela 8).

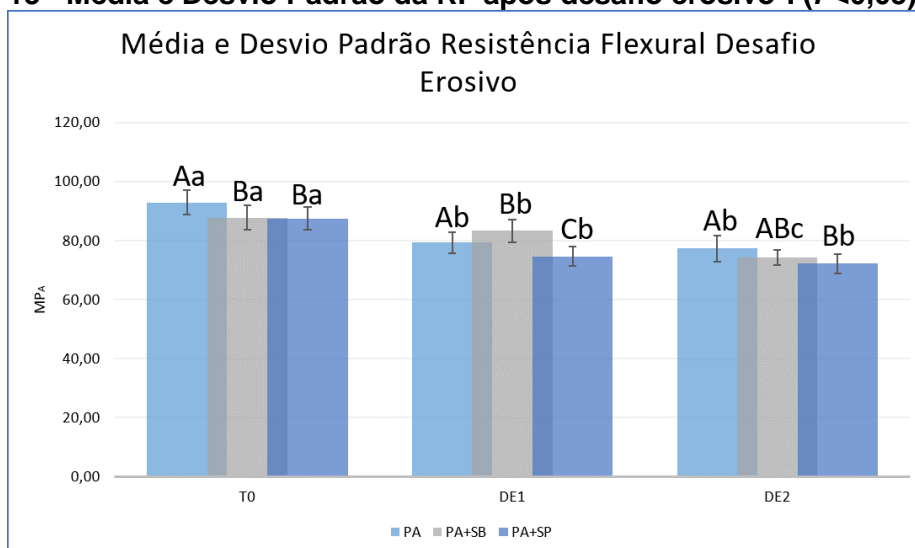
**Tabela 8 – ANOVA 2 fatores para RF após desafio erosivo**

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Desafio erosivo	Linear	3300,268	1	3300,268	266,012	,000
	Quadratic	165,907	1	165,907	8,771	,006
Desafio erosivo * POLIMENTO	Linear	11,732	2	5,866	,473	,628
	Quadratic	273,275	2	136,638	7,224	,003
Error(TEMPO)	Linear	334,974	27	12,406		
	Quadratic	510,708	27	18,915		

Fonte: Autor, 2021

Após DE<sub>1</sub>, o grupo PA+SB obteve maiores valores de RF, com diferença significativa dos demais ( $p < 0,05$ ), os outros grupos não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). O desafio erosivo diminuiu de forma significativa ( $p < 0,05$ ) os valores de RF dos grupos PA e PA+SP após DE<sub>1</sub> e, do grupo PA+SB após DE<sub>2</sub>.

**GRÁFICO 13 - Média e Desvio Padrão da RF após desafio erosivo\*. ( $P<0,05$ ).**

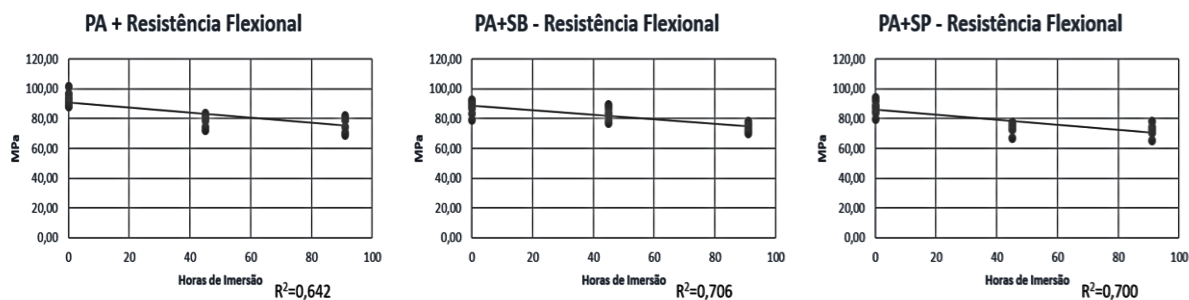


\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P<0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 14), todos os grupos apresentaram alto coeficiente de determinação, variando entre 0,706 e 0,642, desse modo, a RF diminuiu no decorrer do desafio erosivo.

**GRÁFICO 14 - Regressão linear simples entre desafio erosivo e RF**



Fonte: Autor, 2021

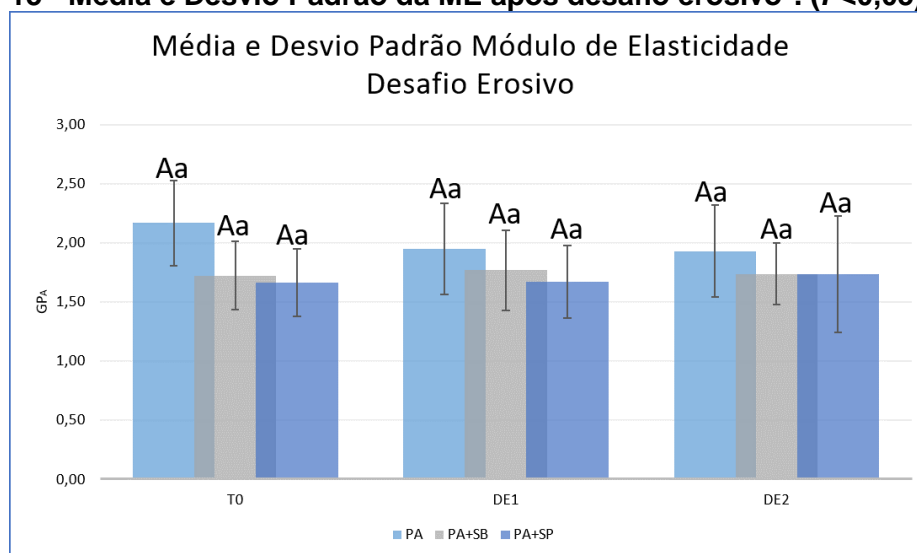
De acordo com a análise de variância ANOVA, o desafio erosivo e os tratamentos de superfície não afetaram significativamente o ME ( $p>0,05$ ) (Tabela 9).



**Tabela 9 – ANOVA 2 fatores para ME após desafio erosivo**

Source	TEMPO	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Desafio erosivo	Linear	,067	1	,067	,640	,431
	Quadratic	,014	1	,014	,082	,776
Desafio erosivo * POLIMENTO	Linear	,007	2	,003	,031	,969
	Quadratic	,015	2	,007	,043	,958
Error(TEMPO)	Linear	2,830	27	,105		
	Quadratic	4,617	27	,171		

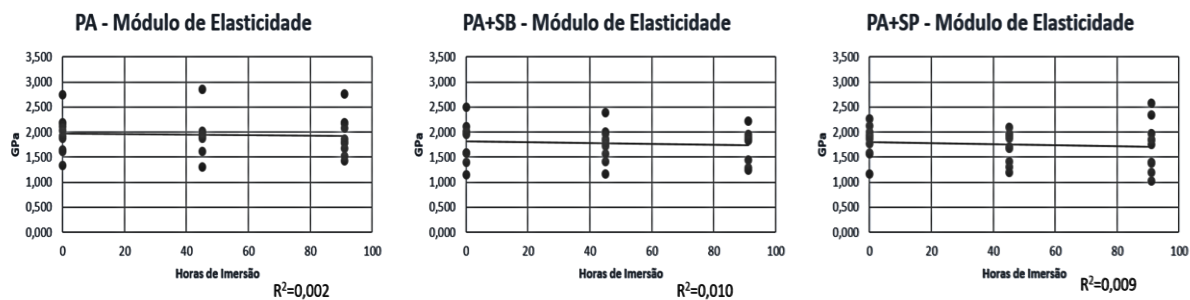
Fonte: Autor, 2021

**GRÁFICO 15 - Média e Desvio Padrão da ME após desafio erosivo\*. ( $P < 0,05$ )**

\*Diferentes letras maiúsculas significam diferença estatística dos diferentes tratamentos de superfície dentro do mesmo período. Diferentes letras minúsculas significam diferença estatística do mesmo tratamento de superfície em diferentes períodos ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a análise de regressão linear simples (Gráfico 16), não houve correlação entre desafio erosivo e ME. Todos os grupos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a zero.

**GRÁFICO 16 - Regressão linear simples entre desafio erosivo e ME**

Fonte: Autor, 2021

*Discussão*

## 5 DISCUSSÃO

Os selantes de superfície foram desenvolvidos para preservar ou melhorar as propriedades mecânicas e estéticas dos materiais restauradores (15, 16, 20-23), sua aplicação após a etapa de polimento é indicada para aumentar a longevidade das restaurações (24). No presente estudo, foi observado efeito positivo da aplicação dos selantes sobre a rugosidade de superfície e resistência flexural do polímero de PMMA para CAD/CAM submetidos aos envelhecimentos. Desse modo, a hipótese nula de que nenhum dos selantes de superfície promoveria alterações nas características físicas e mecânicas do polímero de PMMA para CAD/CAM foi negada.

Os selantes de superfície são materiais feitos de resinas fluídas, com pouca ou nenhuma carga, com a capacidade de preencher as irregularidades (microfissuras e microdefeitos) e, conseqüentemente, promover melhor lisura de superfície (23,25-29). O que justifica os menores valores de Ra obtidos nos grupos que receberam selante de superfície em comparação com os grupos polidos apenas com borrachas, independente do envelhecimento. No entanto, mesmo nos grupos que receberam selante Biscover LV, houve aumento significativo ( $p < 0.05$ ) após 10.000 ciclos de termociclagem e 91 horas de desafio erosivo e no grupo  $P_A + S_P$  após  $T_2$  em comparação com o período inicial ( $T_0$ ). Tal aumento de Ra pode estar relacionado ao espalhamento irregular do selante sobre a superfície (16, 27,29), fraca retenção ao material subjacente (16) e polimerização incompleta do selante, que podem provocar microfissuras e ocasionarem o deslocamento de áreas de selante ao longo do tempo (36). Ainda, a variação de temperatura durante a termociclagem, pode contrair e expandir o camada de selante, induzindo microfissuras e o descascamento de partículas de superfície não aderidas (26).

Houve diferença estatisticamente significativa nos valores de Ra entre os selantes utilizados, sendo o selante  $S_P$  apresentando os menores valores durante os três períodos de análise. O selante  $S_P$  foi o único que conseguiu valores inferiores a  $0,2 \mu\text{m}$  em todos os períodos, valores superiores  $0,2 \mu\text{m}$  podem resultar em maior acúmulo de placa bacteriana e aumento da prevalência de doenças periodontais e lesões cariosas (23). Tais diferenças observadas podem ser devido às diferenças na composição dos dois selantes, sendo que a composição do selante determina a

viscosidade, taxas de fluxo e penetração do material ( 28, 30, 31) e, portanto, pode influenciar na qualidade e durabilidade do selante. Além disso, a diferença do tempo de polimerização dos materiais também pode influenciar nas propriedades físico/químicas dos selantes (26).

Outra importante análise do material restaurador é a microdureza de superfície, tendo grande influência no comportamento mecânico (15,32), principalmente, em áreas que necessitam de alta resistência mecânica, já que a redução da dureza da superfície pode tornar o material mais suscetível à deformação (23,33) O polimento da restauração pode afetar sua dureza superficial (23), no entanto, no presente estudo, os tratamentos de superfícies e envelhecimento não afetaram significativamente a microdureza. Destacamos que embora não seja estatisticamente significativo, a aplicação dos selantes (Biscover LV e Palaseal) resultou em menores valores de MK em todos períodos de análises em comparação os grupos polidos apenas com pontas de borracha. As diferenças observadas podem ser devido a camada de selantes sobre a superfície ter baixo conteúdo de cargas, que pode resultar em menor MK (31).

A resistência flexural é um parâmetro importante de avaliação da resistência mecânica e rigidez do material. As restaurações provisórias devem ter resistência mecânica adequada para suportar as forças oclusais durante o tempo de uso clínico, especialmente em reabilitações complexas, que envolvem o uso prolongado das restaurações, que incluem tratamentos multidisciplinares ou pacientes com hábitos parafuncionais (7). Os polímeros de PMMA para CAD/CAM já possuem valores superiores de RF quando comparado com os tradicionais materiais de restaurações provisórias (7). O processo industrial de confecção desses blocos resulta em melhores características de superfície e, conseqüentemente, pode diminuir a absorção de água e proporcionar resistência flexural mais elevados (2,4). Contudo, foi observado no grupo P<sub>A</sub> uma redução significativa dos valores de RF ao longo dos períodos de análise, independente do tipo de envelhecimento. Sendo, o grupo com maior diferença de RF entre o período final e inicial de análise, igual a -14,34 (T<sub>2</sub>-T<sub>0</sub>) após termociclagem e -15,53 (DE<sub>2</sub>-T<sub>0</sub>) após desafio erosivo. A correlação linear mostrou a baixa influência da termociclagem nos valores de RF dos grupos P<sub>A</sub>+S<sub>B</sub> e P<sub>A</sub>+S<sub>P</sub>. Por outro lado, a RF desses grupos diminuiu no decorrer do desafio erosivo, com alto R<sup>2</sup>, 0,706 e 0,700, respectivamente.

A termociclagem tem como função simular o envelhecimento fisiológicos dos materiais na cavidade bucal, aplicando um estresse hidrotérmico padronizado (7). A regressão linear mostra que 76% da variabilidade da RF do grupo P<sub>A</sub> pode ser explicada pela termociclagem. Desse modo, tendo influência direta nos valores de RF (34), por meio tensão gerada e da penetração de moléculas de água nas cadeias de polímeros dos materiais, agindo como um plastificante e deixando essas cadeias mais instáveis (8).

O desafio erosivo também teve efeito negativo nas análises de Ra e RF. A imersão em HCl foi utilizada para simular o efeito do suco gástrico sobre os materiais (9). Assim, materiais à base de polímeros quando expostos a solução ácida causam uma mudança nas ligações de éster na matriz da resina, levando uma hidrólise do metacrilato (35), e causando uma redução nas propriedades físicas (36,37). De acordo com os resultados do presente estudo, a utilização de selantes de superfície pareceram favorecer a manutenção dos valores de Ra e RF nos grupos que receberam selantes de superfície após desafio erosivo. No estudo de Guedes et al. (15) também foi observado melhora significativa nas propriedades mecânicas e de superfície dos materiais de resina composta, quando submetidas à aplicação de selantes de superfície, principalmente, quando levadas a situações de baixos pH, simulados por bebidas ácidas.

O módulo de elasticidade é a medida da rigidez do material, quanto maior o módulo, maior a rigidez do material (9). No presente estudo, não houve diferenças significativas nas análises de ME, independente dos tratamentos de superfície e envelhecimentos. Ainda não há na literatura estudos que avaliaram a influência dos selantes de superfície sobre o módulo de elasticidade. Entretanto, os valores apresentados no presente estudo são semelhantes com os valores de ME de demais estudos que também avaliaram os polímeros de PMMA para CAD/CAM (38,39).

Por se tratar de um estudo *in vitro*, algumas limitações são encontradas, principalmente para a comparação destas restaurações provisórias com a realidade clínica. Desse modo, estudos que verificassem a influência dos selantes de superfície de polímeros de PMMA para CAD/CAM em ambientes mais similares com a cavidade bucal, especialmente em circunstâncias ácidas, seriam de grande valia pra uma melhor compreensão do comportamento físico-mecânico do material. Para seleção do melhor tratamento de superfície para esses materiais,

estudos clínicos de longo prazo são necessários.

*Conclusão*



## 6 CONCLUSÃO

Dentro das limitações deste estudo podemos concluir que:

- Os selantes de superfície foram capazes de preservar a rugosidade de superfície e resistência flexural de polímero de PMMA para CAD/CAM submetidos a termociclagem ou desafio erosivo.
- A termociclagem e o desafio erosivo influenciaram negativamente nas análises de rugosidade e resistência flexural de polímero de PMMA para CAD/CAM.
- Não houve influência significativa dos tratamentos de superfície e envelhecimentos nas análises de microdureza e módulo de elasticidade.

## REFERÊNCIAS

1. Peñate L, Basilio J, Roig M, Mercadé M. Comparative study of interim materials for direct fixed dental prostheses and their fabrication with CAD/CAM technique. *J Prosthet Dent.* 2015;114(2):248-53. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.12.023.
2. Thompson GA, Luo Q. Contribution of postpolymerization conditioning and storage environments to the mechanical properties of three interim restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2014;112(3):638-48. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.04.008.
3. Beuer F, Aggstaller H, Richter J, Edelhoff D, Gernet W. Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings. *Quintessence Int.* 2009;40(3):243-50.
4. Kelvin Khng KY, Ettinger RL, Armstrong SR, Lindquist T, Gratton DG, Qian F. In vitro evaluation of the marginal integrity of CAD/CAM interim crowns. *J Prosthet Dent.* 2016;115(5):617-23. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.10.002. Epub 2016 Jan 7.
5. Liebermann A, Wimmer T, Schmidlin PR, Scherer H, Löffler P, Roos M, Stawarczyk B. Physicomechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *J Prosthet Dent.* 2016;115(3):321-8.e2. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.09.004
6. Elagra MI, Rayyan MR, Alhomaidhi MM, Alanazy AA, Alnefaie MO. Color stability and marginal integrity of interim crowns: An in vitro study. *Eur J Dent.* 2017;11(3):330-334. doi: 10.4103/ejd.ejd\_66\_17.
7. Alp G, Murat S, Yilmaz B. Comparison of Flexural Strength of Different CAD/CAM PMMA-Based Polymers. *J Prosthodont.* 2019;28(2):e491-e495. doi: 10.1111/jopr.12755.
8. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015;55:1-11. doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.10.004.
9. Takamizawa T, Barkmeier WW, Tsujimoto A, Scheidel D, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M. Mechanical Properties and Simulated Wear of Provisional Resin Materials. *Oper Dent.* 2015 Nov-Dec;40(6):603-13. doi: 10.2341/14-132-L.1.

10. Yao J, Li J, Wang Y, Huang H. Comparison of the flexural strength and marginal accuracy of traditional and CAD/CAM interim materials before and after thermal cycling. *J Prosthet Dent.* 2014;112(3):649-57. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.01.012.
11. Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Shahramian K, Hupa L, Donovan TE, Vallittu P, Närhi TO. Impact of gastric acidic challenge on surface topography and optical properties of monolithic zirconia. *Dent Mater.* 2015;31(12):1445-52. doi: 10.1016/j.dental.2015.09.010.
12. Alnasser M, Finkelman M, Papathanasiou A, Suzuki M, Ghaffari R, Ali A. Effect of acidic pH on surface roughness of esthetic dental materials. *J Prosthet Dent.* 2019;122(6):567.e1-567.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.08.022.
13. Harryparsad A, Dullabh H, Sykes L, Herbst D. The effects of hydrochloric acid on all-ceramic restorative materials: an in-vitro study. *SADJ.* 2014;69(3):106-11.
14. Backer AD, Münchow EA, Eckert GJ, Hara AT, Platt JA, Bottino MC. Effects of Simulated Gastric Juice on CAD/CAM Resin Composites- Morphological and Mechanical Evaluations. *J Prosthodont.* 2017 Jul;26(5):424-431. doi: 10.1111/jopr.12420.
15. Guedes APA, Oliveira-Reis B, Catelan A, Suzuki TYU, Briso ALF, Santos PHD. Mechanical and surface properties analysis of restorative materials submitted to erosive challenges in situ. *Eur J Dent.* 2018;12(4):559-565. doi: 10.4103/ejd.ejd\_188\_18.
16. Köroğlu A, Sahin O, Dede DÖ, Yilmaz B. Effect of different surface treatment methods on the surface roughness and color stability of interim prosthodontic materials. *J Prosthet Dent.* 2016;115(4):447-55. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.10.005.
17. Mickeviciute E, Ivanauskiene E, Noreikiene V. In vitro color and roughness stability of different temporary restorative materials. *Stomatologija.* 2016;18(2):66-72. PMID: 27649722.
18. Ergün G, Mutlu-Sagesen L, Ozkan Y, Demirel E. In vitro color stability of provisional crown and bridge restoration materials. *Dent Mater J.* 2005;24(3):342-50. doi: 10.4012/dmj.24.342.
19. Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural strength of interim resin materials for fixed prosthodontics. *J Prosthodont.* 2009;18(6):507-11. doi: 10.1111/j.1532-849X.2009.00473.x.

20. Ruschel VC, Bona VS, Baratieri LN, Maia HP. Effect of Surface Sealants and Polishing Time on Composite Surface Roughness and Microhardness. *Oper Dent*. 2018;43(4):408-415. doi: 10.2341/17-048-L. Epub 2018 Apr 9.
21. Dayrell A, Takahashi J, Valverde G, Consani R, Ambrosano G, Mesquita M. Effect of sealer coating on mechanical and physical properties of permanent soft lining materials. *Gerodontology*. 2012;29(2):e401-7. doi: 10.1111/j.1741-2358.2011.00487.x.
22. Köroğlu A, Şahin O, Dede DÖ, Deniz ŞT, Karacan Sever N, Özkan S. Efficacy of denture cleaners on the surface roughness and *Candida albicans* adherence of sealant agent coupled denture base materials. *Dent Mater J*. 2016;35(5):810-816. doi: 10.4012/dmj.2016-103.
23. Gurbuz O, Cilingir A, Dikmen B, Ozsoy A, Mert Eren M. Effect of surface sealant on the surface roughness of different composites and evaluation of their microhardness. *Eur Oral Res*. 2020;54(1):1-8. doi: 10.26650/eor.20200020.
24. dos Santos PH, Pavan S, Consani S, Sobrinho LC, Sinhoreti MA, Filho JN. In vitro evaluation of surface roughness of 4 resin composites after the toothbrushing process and methods to recover superficial smoothness. *Quintessence Int*. 2007;38(5):e247-53.
25. Bertrand MF, Leforestier E, Muller M, Lupi-Pégurier L, Bolla M. Effect of surface penetrating sealant on surface texture and microhardness of composite resins. *J Biomed Mater Res*. 2000;53(6):658-63. doi: 10.1002/1097-4636(2000)53:6<658::aid-jbm7>3.0.co;2-o.
26. Dede DÖ, Şahin O, Koroglu A, Yilmaz B. Effect of sealant agents on the color stability and surface roughness of nanohybrid composite resins. *J Prosthet Dent*. 2016;116(1):119-28. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.11.024.
27. Şahin O, Dede DÖ, Köroğlu A, Yılmaz B. Influence of surface sealant agents on the surface roughness and color stability of artificial teeth. *J Prosthet Dent*. 2015;114(1):130-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.02.009.
28. Yao Q, Morton D, Eckert GJ, Lin WS. The effect of surface treatments on the color stability of CAD-CAM interim fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*. 2021;126(2):248-253. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.05.017.
29. Sahin O, Koroglu A, Dede DÖ, Yilmaz B. Effect of surface sealant agents on the surface roughness and color stability of denture base materials. *J Prosthet Dent*. 2016;116(4):610-616. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.03.007.

30. Choi JJE, Uy CE, Ramani RS, Waddell JN. Evaluation of surface roughness, hardness and elastic modulus of nanoparticle containing light-polymerized denture glaze materials. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;103:103601. doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.103601.
31. Çakmak G, Subaşı MG, Yilmaz B. Effect of thermocycling on the surface properties of resin-matrix CAD-CAM ceramics after different surface treatments. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;117:104401. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104401.
32. Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi YA, Silikas N, Watts DC. In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. *Dent Mater.* 2003;19(5):393-8. doi: 10.1016/s0109-5641(02)00082-9.
33. Yikilgan İ, Kamak H, Akgul S, Ozcan S, Bala O. Effects of three different bleaching agents on microhardness and roughness of composite sample surfaces finished with different polishing techniques. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(3):e460-e465. doi: 10.4317/jced.53136.
34. Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of cross-sectional design on the modulus of elasticity and toughness of fiber-reinforced composite materials. *J Prosthet Dent.* 2005;94(3):219-26. doi: 10.1016/j.prosdent.2005.06.008.
35. Attin T, Wegehaupt FJ. Methods for assessment of dental erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:123-42. doi: 10.1159/000360355.
36. Backer AD, Münchow EA, Eckert GJ, Hara AT, Platt JA, Bottino MC. Effects of Simulated Gastric Juice on CAD/CAM Resin Composites- Morphological and Mechanical Evaluations. *J Prosthodont.* 2017;26(5):424-431. doi: 10.1111/jopr.12420.
37. Rahim TN, Mohamad D, Md Akil H, Ab Rahman I. Water sorption characteristics of restorative dental composites immersed in acidic drinks. *Dent Mater.* 2012;28(6):e63-70. doi: 10.1016/j.dental.2012.03.011. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22480722.
38. Niem T, Youssef N, Wöstmann B. Influence of accelerated ageing on the physical properties of CAD/CAM restorative materials. *Clin Oral Investig.* 2020;24(7):2415-2425. doi: 10.1007/s00784-019-03101-w.
39. de Kok P, Kleverlaan CJ, de Jager N, Kuijs R, Feilzer AJ. Mechanical performance of implant-supported posterior crowns. *J Prosthet Dent.* 2015;114(1):59-66. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.10.015.

*Anexos*

## **ANEXO A - NORMAS PARA SUBMISSÃO DO ARTIGO CONFECCIONADO**

**\*Após, as adequações da banca, o artigo será reconfigurado de acordo com a normas disponível abaixo.**

The Journal of Prosthetic Dentistry (Qualis A1 – Fator de Impacto: 2.444)

As normas para submissão estão disponíveis no link:

<https://www.elsevier.com/journals/journal-of-prosthetic-dentistry/0022-3913/guide-for-authors>

Editor-in-Chief: Stephen F. Rosenstiel

