

**EZEQUIAS COSTA RODRIGUES JÚNIOR**

**Grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas  
*bulk-fill* em função de dois aparelhos fotopolimerizadores  
e de tratamento térmico**

São Paulo

2019



**EZEQUIAS COSTA RODRIGUES JÚNIOR**

**Grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas  
*bulk-fill* em função de dois aparelhos fotopolimerizadores  
e de tratamento térmico**

**Versão Original**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Biomateriais e Biologia Oral) para obter o título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Francci

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação  
Serviço de Documentação Odontológica  
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Rodrigues Júnior, Ezequias Costa.

Grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas *bulk-fill* em função de dois aparelhos fotopolimerizadores e de tratamento térmico / Ezequias Costa Rodrigues Júnior ; orientador Carlos Eduardo Francci -- São Paulo, 2019.

203 p. : fig., tab., ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Biomateriais e Biologia Oral. – Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão original

1. Resinas compostas. 2. Dureza. 3. Módulo de elasticidade. 4. Resistência à flexão. 5. Fotopolimerização. 6. Tratamento térmico. I. Francci, Carlos Eduardo. II. Título.

Rodrigues Júnior EC. Grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas bulk-fill em função de dois aparelhos fotopolimerizadores e de tratamento térmico. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em:    /    /2019

**Banca Examinadora**

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_



Dedico este trabalho àqueles que me sustentaram até aqui: Deus,  
meus pais Eliene e Ezequias, minhas irmãs Priscila e Thays,  
e minha avó Maria de Lourdes (*in memoriam*)



## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela sua infinita misericórdia e pela vida de todas as pessoas a quem aqui dedico agradecimento. Porque dEle, por Ele, para Ele são todas as coisas.

Aos meus pais **Eliene e Ezequias Rodrigues**, obrigado por terem acreditado em mim e por jamais desistido da minha educação. Vocês abriram mão dos seus sonhos pelos meus e eu serei eternamente grato por isso. Às minhas irmãs **Priscila e Thays Rodrigues**, por mesmo na distância estarem sempre presentes. Amo muito vocês! Ao meu cunhado **André Moura**, obrigado pela força de sempre. À pessoa que mais estaria celebrando minhas conquistas comigo se nesse mundo ainda estivesse, minha vizinha **Maria de Lourdes**, nunca me esquecerei do seu rosto, do seu toque e do seu amor incondicional.

A minha companheira de vida, minha alma gêmea, meu amor para a vida toda: **Luiza Paz**. Não consigo escrever uma letra sobre você sem que lágrimas de gratidão pela sua vida inundem os meus olhos. Obrigado por me ouvir, me aconselhar e por ser instrumento de Deus na minha vida. São Paulo tem outro significado com você.

Ao meu companheiro de vida **Santiago Gutierrez** pela paciência e por ter sempre estado durante esta trajetória. Obrigado pelo apoio incondicional demonstrado de tantas maneiras.

Ao meu amigo e orientador **Prof. Carlos Eduardo Francci**, pela confiança, pelo suporte e por ter acreditado em mim!

Às pessoas que seguraram na minha mão na reta final e sempre disseram “vai dar certo”. Eu jamais conseguirei ser grato o suficiente. **Sandra Almeida**, mais do que a você, agradeço a Deus por ter colocado nossas histórias em paralelo e pela amizade que nos proporcionou. Você é um exemplo de pessoa e uma amiga para todas as horas. **Amanda Cavalcante**, obrigado pela amizade e por todas as horas despendidas comigo ao lado do nanodurômetro, pelas discussões, pelas risadas gostosas e pela sensação de casa que você me transmite.

Aos amigos conterrâneos que ainda que à distância, seguimos unidos pelo amor. **Celiane Carneiro**, por ser a primeira pessoa que acreditou em mim na Odontologia e por me encorajar a enfrentar novos desafios sem ter medo do futuro. **Patrícia Sudário**, pela amizade linda e pela torcida de sempre. **Josué Rocha**, pela amizade sincera e incondicional! **Gisele Barreto**, pela amizade e carinho. **Dayane Nayara**, pela amizade sincera e por sempre me lembrar de onde viemos e tudo aquilo que podemos conquistar com nosso esforço. A São Paulo por me acolher e pelas pessoas que colocou em minha vida. **Fernanda Bruno**, Deus já tinha a nossa amizade em seus planos antes mesmo de eu pensar em vir para essa cidade. Obrigado por ser instrumento dele na minha vida. **Lucas Fernandes**, obrigado pela companhia e pelos momentos de felicidade! Minhas **Juliana Castro**, **Yvette Alania**, **Mariana Reis**, **Mariel Maas** e **Lívia Natale**, essa cidade, a rotina e o departamento não são mais os mesmos sem vocês. Sinto saudade de tê-las por perto. **Taciane Tomita**, obrigado pela amizade e pelas boas risadas. **Bruno Lopes**, obrigado pela parceria de sempre. **Alexander Nishida**, obrigado pela sua amizade, seus conselhos e por sempre estar disposto a me ajudar. **Camila Kiyohara**, obrigado pela amizade e apoio. **Pedro Albuquerque** e **Bernar Benites**, obrigado pela parceria e pelos momentos de 93C! A **Isabel Olegário** pela ajuda com a estatística e pela disponibilidade.

A aqueles que fazem do Departamento de Biomateriais e Biologia Oral um lugar onde eu me senti acolhido e que sempre estiveram à disposição. **Antonio Lascala**, obrigado por todo o suporte durante minha pós-graduação. **Prof. Leonardo Eloy**, obrigado por me receber em São Paulo como seu aluno de mestrado e por ter me ensinado tanto! **Prof. Igor Studart**, obrigado por ter aberto as portas da USP para mim. **Rosa Cristina**, obrigado por ser essa mãezona. **Elidamar Guimarães**, sempre prestativa, obrigado pelo suporte. **Dona Fran**, obrigado pelos cafezinhos e pelas conversas que me remetiam a nossa terrinha.

A minha amiga e mentora profissional **Anna Paula Kalix**, obrigado por ser conselheira, compreensiva e sempre cuidar de mim como uma mãe.

Aos professores do Departamento de Biomateriais e Biologia Oral: **Roberto Braga, Fernando Neves, Paulo Capel, Paulo César, Rafael Ballester e Victor Arana.**

A **Sulzer Mixpac**, pela oportunidade de conciliar doutorado e trabalho corporativo.

A **Capes** pela concessão da bolsa de mestrado no período de Agosto/2016 a Março/2018.



## RESUMO

Rodrigues Júnior EC. Grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas bulk-fill em função de dois aparelhos fotopolimerizadores e de tratamento térmico [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2019. Versão Original.

O presente trabalho avaliou o grau de conversão, propriedades ópticas e mecânicas de resinas compostas *bulk-fill* (RCBF) em função de dois aparelhos fotopolimerizadores, Bluephase G2 (Blue) e Radii Plus (Radii) sob dose de 20J/cm<sup>2</sup>, e de tratamento térmico (TT) a 170°C por 10 minutos após fotopolimerização. O grau de conversão (GC) foi avaliado em FTIR; parâmetro de translucidez (PT<sub>00</sub>), variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ), parâmetros L\* (L\*), a\* (a\*) e b\* (b)\* em espectrofotômetro; nanodureza (ND) e módulo de elasticidade (ME) em nanodurômetro; resistência à flexão biaxial (RFB) em máquina de ensaios universal; e profundidade de cura por GC (PC<sub>GC</sub>) e ND (PC<sub>ND</sub>). GC, ND e ME foram avaliados em função da profundidade. Três RCBF (Filtek One BulkFill, FO; Tetric N-Ceram Bulk Fill, TEC; SonicFill™ 2, SF) e uma convencional (Charisma Classic, CC) foram avaliadas. Os resultados foram submetidos a análise de variância, correlações de Pearson e Regressão de Poisson, com nível de significância de 5%. A diminuição das propriedades GC, ND e ME em profundidade foi influenciada pelo fotopolimerizador, entretanto valores constantes em profundidade puderam ser observados na dependência do material e do fotopolimerizador. RCBF apresentaram maior PT<sub>00</sub> em comparação à resina composta convencional. RFB variou na dependência da composição e microestrutura. A profundidade de cura variou na dependência do fotopolimerizador e valores diferentes foram observados entre PC<sub>GC</sub> e PC<sub>ND</sub>. Todas as RCBF apresentaram PC<sub>GC</sub> de 4 mm, enquanto que apenas RCBF fotopolimerizadas com Blue apresentaram PC<sub>ND</sub> de 4 mm. Com Radii, todas as RCBF apresentaram PC<sub>ND</sub> de 3 mm. Para ambos fotopolimerizadores, PC<sub>GC</sub> e PC<sub>ND</sub> da resina convencional foram de 3 mm e 2 mm, respectivamente. Correlações entre GC e ND, GC e ME, e ND e ME foram respectivamente r=0,7973, r=0,7709 e r=0,7591. Após TT, todos os materiais e profundidades apresentaram aumento no GC. Para ND, houve diferença entre os fotopolimerizadores após TT. O TT não alterou o PT<sub>00</sub>, entretanto levou à alteração de cor dos materiais, de maneira que FO

fotopolimerizada com Blue apresentou  $\Delta E_{00}$  acima do limite de aceitabilidade.  $L^*$  aumentou para todos os materiais, exceto CC e TEC fotopolimerizadas com Radium,  $a^*$  e  $b^*$  variaram em função do TT e do fotopolimerizador, de maneira que o TT levou ao amarelecimento de todos os materiais. O aumento da RFB após TT foi observado para todos os materiais, exceto SF fotopolimerizado por Radium. O TT aumentou a  $PC_{GC}$  para CC fotopolimerizada com Blue e a  $PC_{ND}$  de CC com ambos fotopolimerizadores, além de TEC com Blue. Correlações após TT entre GC e ND, GC e ME, e ND e ME foram respectivamente  $r=0,3994$ ,  $r=0,4307$  e  $r=0,7716$ . O presente trabalho conclui: no geral, a utilização de diferentes fotopolimerizadores não exerceu influência sobre as propriedades estudadas; GC, ND e ME reduzem com o aumento da profundidade; o TT elevou GC, ND, ME, RFB das resinas compostas, exceto SF em função do fotopolimerizador; PC aumentou após TT em função do fotopolimerizador;  $PT_{00}$  manteve-se inalterado, entretanto todos os materiais apresentaram  $\Delta E_{00}$  após TT.

Palavras-chave: Resinas compostas. Resinas compostas *bulk-fill*. Grau de conversão. Dureza. Módulo de elasticidade. Resistência à flexão. Profundidade de cura. Fotopolimerização. Tratamento térmico.

## ABSTRACT

Rodrigues Júnior EC. Degree of conversion, optical and mechanical properties of bulk-fill resin composites as a function of two light-curing units and of heat treatment [thesis]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2019. Versão Original.

The present study evaluated the degree of conversion, optical and mechanical properties of bulk-fill resin composites (BFRC) as a function of two light curing units (LCU), Bluephase G2 (Blue) and Radii Plus (Radii) under a 20J/cm<sup>2</sup> dose, and of heat treatment (HT) at 170°C for 10 minutes after photoactivation. Degree of conversion (DC) was assessed by FTIR; translucency parameter (TP<sub>00</sub>), color difference ( $\Delta E_{00}$ ), and L\* (L\*), a\* (a\*) and b\* (b\*) parameters in spectrophotometer; nanohardness (NH) and modulus of elasticity (ME) in nanohardness machine; biaxial flexural strength (BFS) in universal testing machine; and depth of cure by DC (DoC<sub>DC</sub>) and NH (DoC<sub>NH</sub>). DC, NH and ME were assessed as a function of the depth. Three BFRC (Filtek One BulkFill, FO; Tetric N-Ceram Bulk Fill, TEC; SonicFill™ 2, SF) and one conventional resin composite (Charisma Classic, CC) were evaluated. Results were submitted to ANOVA, Pearson correlations and Poisson regression, with a global significance level of 5%. The decrease of DC, NH and ME in depth was influenced by the LCU, however constant values in depth were observed depending on the material and on the LCU. BFRC presented higher TP<sub>00</sub> in comparison to the conventional composite. BFS was dependent on the composition and microstructure. DoC varied depending on the LCU and different values were observed between DoC<sub>DC</sub> and DoC<sub>NH</sub>. All BFRC presented DoC<sub>DC</sub> of 4 mm, meanwhile only BFRC photoactivated with Blue had DoC<sub>NH</sub> of 4 mm. With Radii, all BFRC had DoC<sub>NH</sub> of 3 mm. For both LCU, DoC<sub>DC</sub> and DoC<sub>NH</sub> of the conventional composite were 3 mm and 2 mm, respectively. Correlations between DC and NH, DC and ME, and NH and ME were respectively r=0,7973, r=0,7709 and r=0,7591. After HT, all materials had a DC increase. For NH, there was a difference between LCU after HT. TP<sub>00</sub> was not affected by HT, however heat application led to significant color changes, in a way that FO photoactivated with Blue had  $\Delta E_{00}$  above the acceptance threshold. L\* increased for all materials, except for CC and TEC photoactivated with Radii, a\* and b\* varied depending on HT and LCU, in a way that

HT led to a yellowish of all tested materials. BFS increase after HT was observed for all materials, except for SF photoactivated with Radii. HT increased DoC<sub>DC</sub> for CC photoactivated with Blue and DoC<sub>NH</sub> with both LCU, besides TEC photoactivated with Blue. Correlations after HT between DC and NH, DC and ME, and NH and ME were  $r=0,3994$ ,  $r=0,4307$  and  $r=0,7716$ , respectively. The present study concludes that: in general, using different LCUs did not affect the evaluated properties; DC, NH and ME decreased as depth increased; HT increased DC, NH, ME and BFS for all materials, except for SF depending on the LCU; DoC increased after HT depending on the LCU; TP<sub>00</sub> was not affected by HT, however all materials presented  $\Delta E_{00}$  after HT.

Keywords: Composite resins. Bulk-fill composite resins. Degree of conversion. Hardness. Elastic modulus. Flexural strength. Depth of cure. Photoactivation. Heat treatment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 2.1 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de baixa viscosidade Opus Bulk Fill Flow (FGM – Joinvile, Brasil). **A)** dente 16 com cavidade classe I; **B,C)** após isolamento absoluto, condicionamento ácido seletivo em esmalte; **D)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **E,F)** aplicação de adesivo Universal (Ambar, FGM) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **G)** aspecto brilhante dos substratos após secagem com jato de ar e evaporação do solvente; **H)** fotoativação do agente adesivo; **I, J)** aplicação de resina composta *bulk-fill* de baixa viscosidade (Opus Bulk Fill Flow, FGM) a partir dos ângulos internos do preparo; **K,L,M)** aplicação da resina composta *bulk-fill* como base em toda a parede pulpar do preparo, respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (4 mm); **N,O,P,Q)** extrusão de material; **R)** fotoativação da resina composta *bulk-fill* segundo recomendação do fabricante; **S,T,U,V,W,X)** cobertura oclusal incremental com resina composta convencional (Opallis, FGM) e fotoativação entre incrementos; **Y)** fotoativação final da restauração; **Z)** aspecto final da restauração após acabamento e polimento .....40
- Figura 2.2 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de alta viscosidade Aura Bulk Fill (SDI – Victoria, Austrália). **A)** dente 36 com cavidade classe I; **B)** após isolamento absoluto, condicionamento ácido seletivo em esmalte; **C)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **D,E,F,G)** após secagem, aplicação de agente adesivo autocondicionante (Go!, SDI) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **H)** secagem da cavidade com jato de ar; **I)** remoção do excesso de adesivo com pincel aplicador seco; **J)** fotoativação do agente adesivo; **K,L)** inserção da resina composta Aura Bulk Fill (SDI) em incremento único respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (4 mm); **M)** condensação vertical da resina composta para garantir adaptação do material às paredes do preparo; **N)** aspecto da restauração após escultura; **O)** fotoativação da restauração segundo recomendação do fabricante; **P)** acabamento e polimento da restauração; **Q,R)** aspecto final da restauração .....42

Figura 2.3 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de alta viscosidade de ativação sônica SonicFill (Kerr). **A)** dente 26 com cavidade classe II (mésio-oclusal); **B)** após isolamento absoluto e proteção do dente 15 com tira isolante (TDV Dental – Pomerode, Brasil), condicionamento ácido seletivo em esmalte; **C)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **D,E)** aplicação de agente autocondicionante (Optibond All-In-One, Kerr – Orange, Estados Unidos) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **F)** após secagem e evaporação do solvente, fotoativação do agente adesivo; **G)** remoção da tira isolante do dente (TDV Dental)15; **H)** colocação de matriz individual de aço Supermatt (Kerr – Orange, Estados Unidos); **I)** adaptação da matriz de aço à parede gengival do preparo com o auxílio de cunha de madeira; **J)** cápsula de SonicFill a ser acoplada em peça de mão do sistema; **K,L,M,N)** inserção da resina composta durante extrusão do material com energia sônica de 6.100 Hertz desde a parede gengival até o preenchimento em excesso das porções oclusal e proximal do preparo respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (5 mm); **O,P)** condensação vertical da resina composta para garantir adaptação do material às paredes do preparo; **Q)** aspecto após preenchimento da cavidade e condensação vertical; **R)** condensação horizontal do material às margens do preparo; **S)** escultura da restauração; **T)** fotoativação oclusal da restauração segundo recomendação do fabricante; **U)** remoção da matriz de aço individual; **V, W)** fotoativação adicional das faces vestibular e palatina segundo recomendação do fabricante; **X)** acabamento proximal com discos de lixa Optidisc (Kerr); **Y)** polimento da restauração; **Z)** aspecto final da restauração ..... 44

Quadro 2.1 - Resinas compostas *bulk-fill* comercialmente disponíveis no mercado brasileiro ..... 47

Figura 2.4 - Monômeros dimetacrilatos mais comumente utilizados na formulação de resinas compostas (adaptado de Sideridou et al., 2002)..... 49

Figura 2.5 - Molécula do Ivocerin®, fotoiniciador à base de germânio, presente na composição da resina Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent - Schaan, Liechtenstein) ..... 52

Quadro 4.1 - Materiais utilizados no presentes estudo ..... 73

Figura 4.1 - Visão inferior dos espaçadores utilizados na fotoativação dos corpos de prova no presente estudo. Em **A**, espaçador adaptado a ponta do fotopolimerizador Bluephase G2; em **B**, espaçados adaptado à ponta do fotopolimerizador Radium Plus ..... 75

Quadro 4.2 - Unidades fotoativadoras utilizadas no presente estudo .....	76
Figura 4.2 - Forno para anéis modelo 3000 (EDG Equipamentos).....	77
Figura 4.3 - Sequência de confecção de corpos de prova para teste de grau de conversão. (A) primeira arruela metálica posicionada sobre tira de poliéster e lâmina de vidro; (B) inserção e condensação de resina composta no orifício da arruela; (C) após preenchimento da arruela, pressão manual para nivelamento do material na primeira arruela (referente ao quarto milímetro); (D) preenchimento de nova arruela (referente ao terceiro milímetro); (E) após repetição do procedimento para as arruelas referentes ao segundo e primeiro milímetros, pressão manual com lâmina de vidro para microscopia sobre tira de poliéster sobre o conjunto para acomodação do material no primeiro milímetro; (F) após remoção da lâmina de vidro para microscopia, fotoativação do conjunto.....	79
Figura 4.4 - Sequência de confecção de corpos de prova leitura de parâmetros de cor. (A) aplicação de gel lubrificante em ambos os lados da matriz de poliacetato; (B) matriz sobre fragmento de folha de transparência; (C) preenchimento da cavidade da matriz com resina composta; (D) pressão manual sobre resina composta com lâmina de vidro sobre fragmento de folha de transparência; (E) após remoção da lâmina de vidro, fotoativação do espécime; (F) remoção do espécime do interior da matriz; (G) aferição de espessura do espécime com paquímetro digital; (H) posicionamento do espécime em fundo preto com acoplante glicerina; (I) posicionamento do espécime em fundo branco com acoplante glicerina .....	82
Figura 4.5 - Sequência de confecção de corpos de prova para nanoindentação, de onde se obtiveram os resultados para nanodureza e módulo de elasticidade. (A) matriz de poliacetato em forma de “U” com ângulos vivos; (B) aplicação de fina camada de gel lubrificante nas paredes internas da matriz; (C) montagem da matriz – a face livre vertical da matriz é selada com tira de poliéster e fragmento de lâmina de vidro, pressionadas com prendedor de papel tipo <i>binder clip</i> ; (D) inserção da resina composta na cavidade da matriz em incremento único; (E) após preenchimento da cavidade, pressão manual com tira de poliéster e lâmina de vidro para uniformização da superfície superior de material; (F) remoção da lâmina de vidro e fotoativação do corpo de prova; (G) remoção do corpo de prova da matriz com o auxílio de Lecron (Duflex); (H) marcação com pincel permanente da superfície superior na face oposta à tira de poliéster; (I) posicionamento de espécime na máquina de teste dinâmico de nanodureza DUH-W211S (Shimadzu) .....	87
Figura 4.6 - Esquema de endentações realizadas nos corpos de prova para obtenção da nanodureza e módulo de elasticidade .....	89

Figura 4.7 - Dispositivo “pistão sobre três bolas” acoplado a máquina de ensaios universal. <b>(A)</b> visão da base de três bolas e do pistão de carregamento; <b>(B)</b> espécime posicionado para execução do teste de resistência à flexão biaxial .....	90
Figura 4.8 - Fluxograma dos testes realizados no presente estudo.....	93
Figura 5.1 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) .....	99
Figura 5.2 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) .....	100
Figura 5.3 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ ).....	101
Figura 5.4 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ ) .....	102
Figura 5.5 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) do grau de conversão após tratamento térmico .....	106
Figura 5.6 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material .....	107

- Figura 5.7 - Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Charisma Classic considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Charisma Classic ..... 108
- Figura 5.8 - Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Filtek One Bulk Fill considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Filtek One Bulk Fill ..... 109
- Figura 5.9 - Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill ..... 110
- Figura 5.10 - Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta SonicFill™ 2 considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta SonicFill™ 2 ..... 111
- Figura 5.11 - Médias e desvios-padrões do parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ) nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas sobre as barras indicam diferença estatística para ambas variáveis fotopolimerizador e condição de tratamento dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas distintas localizadas na base das barras indicam diferença estatística quando todos as condições são comparadas..... 115
- Figura 5.12 - Médias e desvios-padrões de variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) entre as condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparados diferentes fotopolimerizadores dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ). LP e LA significam limite de perceptibilidade (0,8) e limite de aceitabilidade (1,8), respectivamente ..... 116
- Figura 5.13 - Médias e desvios-padrões do eixo  $L^*$  nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparados diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ) .... 117

- Figura 5.14 - Médias e desvios-padrões do eixo a\* nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ).... 118
- Figura 5.15 - Médias e desvios-padrões do eixo b\* nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ).... 119
- Figura 5.16 - Escala cromática indicativa da magnitude da diferença nos eixos a\* e b\* entre as condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador ..... 120
- Figura 5.17 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador. Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )..... 122
- Figura 5.18 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) ..... 123
- Figura 5.19 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) ..... 124
- Figura 5.20 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) ..... 125
- Figura 5.21 - Médias e desvios-padrões de nanodureza para a superfície topo das resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre fotopolimerizadores para um mesmo material ( $p < 0,05$ ) ..... 125

- Figura 5.22 - Médias e desvios-padrões de nanodureza para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p \geq 0,05$ ) dentro de uma mesma profundidade para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico). Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) da nanodureza após tratamento térmico ..... 128
- Figura 5.23 - Médias e desvios-padrões de nanodureza no topo das resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador nas condições sem e com tratamento térmico. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p > 0,05$ ) dentro de um mesmo material para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico) ..... 129
- Figura 5.24 - Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material..... 130
- Figura 5.25 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador. Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )..... 133
- Figura 5.26 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) ..... 134
- Figura 5.27 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ ) ..... 135

- Figura 5.28 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )..... 136
- Figura 5.29 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p \geq 0,05$ ) dentro de uma mesma profundidade para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico). Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) do módulo de elasticidade após tratamento térmico..... 140
- Figura 5.30 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material ..... 141
- Figura 5.31 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras iguais indicam semelhança estatística quando comparados materiais, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) ..... 144
- Figura 5.32 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento dentro de um mesmo fotopolimerizador. Valores entre as barras na base do gráfico indicam o aumento em % da resistência à flexão biaxial após tratamento térmico..... 146
- Figura 5.33 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras iguais indicam semelhança estatística entre fotopolimerizadores para um mesmo material ( $p \geq 0,05$ )..... 147
- Figura 5.34 - Profundidade de cura por (mm) grau de conversão dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador ..... 150

Figura 5.35 - Profundidade de cura (mm) por nanodureza dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador ...	152
Figura 5.36 - Profundidade de cura (mm) por grau de conversão dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador .....	153
Figura 5.37 - Profundidade de cura (mm) por nanodureza dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador ...	154
Figura 5.38 - Análise de correlação de Pearson entre grau de conversão e nanodureza .....	155
Figura 5.39 - Análise de correlação de Pearson entre grau de conversão e módulo de elasticidade .....	156
Figura 5.40 - Análise de correlação de Pearson entre nanodureza e módulo de elasticidade .....	157



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 5.1 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em mesmo fotopolimerizador para um mesmo material.....98
- Tabela 5.2 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em uma mesma condição de tratamento para um mesmo material..... 103
- Tabela 5.3 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radii Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em uma mesma condição de tratamento para um mesmo material..... 104
- Tabela 5.4 - Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para o grau de conversão (%). Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável ..... 112
- Tabela 5.5 - Médias e desvios-padrões dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  em fundo branco das resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador ..... 113
- Tabela 5.6 - Médias e desvios-padrões do parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ) das resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas as variáveis fotopolimerizador e condição de tratamento dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ) .... 114

- Tabela 5.7 - Médias e desvios-padrões da variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) das resinas compostas estudadas na comparação entre as condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas as variáveis fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ) ..... 116
- Tabela 5.8 - Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material ..... 121
- Tabela 5.9 - Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico) em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de uma mesma condição de tratamento para um mesmo material ..... 126
- Tabela 5.10 - Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radium Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico) em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de uma mesma condição de tratamento térmico para um mesmo material ..... 127
- Tabela 5.11 - Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para a nanodureza. Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável ..... 131
- Tabela 5.12 - Médias e desvios-padrões de módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material ..... 132

- Tabela 5.13 -Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material..... 137
- Tabela 5.14 -Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radium Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material..... 138
- Tabela 5.15 -Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para o módulo de elasticidade (GPa). Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável ..... 142
- Tabela 5.16 -Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre todos os materiais considerando ambos fotopolimerizadores. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre fotopolimerizadores em um mesmo material..... 143
- Tabela 5.17 -Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre diferentes condições de tratamento em um mesmo material..... 145
- Tabela 5.18 -Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radium Plus em função da condição de tratamento. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre diferentes condições de tratamento em um mesmo material..... 145
- Tabela 5.19 -Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para a resistência à flexão biaxial(MPa). Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável..... 148

Tabela 5.20 -Relação profundidade/topo por grau de conversão para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Bluephase G2.....	149
Tabela 5.21 -Relação profundidade/topo por grau de conversão para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Radium Plus .....	150
Tabela 5.22 -Relação profundidade/topo por nanodureza para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Bluephase G2.....	151
Tabela 5.23 -Relação profundidade/topo por nanodureza para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Radium Plus .....	151

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
Bis-EMA	Bisfenol A etoxilado dimetacrilato
Bis-GMA	Bisfenol A glicidil dimetacrilato
CC	Charisma Classic
DMAEMA	N,N-dimetilaminoetil metacrilato
EBPADMA	Bisfenol A etoxilado dimetacrilato
FO	Filtek One Bulk Fill
TEC	Tetric N-Ceram Bulk Fill
SF	SonicFill™ 2
GC	Grau de conversão
ISO	<i>International Standard Organization</i>
ND	Nanodureza
RFB	Resistência à flexão biaxial
LED	Luz emissora de diodo
PT <sub>00</sub>	Parâmetro de translucidez
ME	Módulo de elasticidade
n	Número de espécimes por grupo
™	<i>Trade mark</i>
APS	<i>Advanced Polymerization System</i>
®	Registrado
QHT	<i>Quartz Tungsten Halogen</i>
DP	Desvio padrão
FTIR	Espectroscopia no infra-vermelho próximo com transformada de Fourier
TEGDMA	Trietileno glicol dimetacrilato

Tg	Temperatura de transição vítrea
L*	Parâmetro L*
A*	Parâmetro a*
b*	Parâmetro b*
$\Delta E_{00}$	Varição de cor
UDMA	Uretano dimetacrilato
PC <sub>GC</sub>	Profundidade de cura por grau de conversão
UV	Ultra-violeta
PC <sub>ND</sub>	Profundidade de cura por nanodureza

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
cm	Centímetro
cm <sup>-1</sup>	centímetro a menos um
g/mol	grama(s) por mol
J/cm <sup>2</sup>	Joule por centímetro quadrado
min	minuto(s)
mm	milímetro(s)
mm/min	milímetro(s) por minuto
mol	mol
MPa	MegaPascal
MPa.mm <sup>2</sup>	MegaPascal por milímetro quadrado
mW	miliWatt
mW/cm <sup>2</sup>	miliWatt por centímetro quadrado
N	Newton
N/mm <sup>2</sup>	Newton por milímetro quadrado
nm	nanometro(s)
Pa	Pascal
rpm	rotações por minuto
µm	micrometro(s)



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	35
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	37
2.1	O ADVENTO DAS RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	37
2.2	REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E GRAU DE CONVERSÃO DE RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	49
2.3	PROFUNDIDADE DE CURA DE RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	54
2.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	56
2.5	PROPRIEDADES ÓPTICAS DE RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	59
2.6	UNIDADES FOTOATIVADORAS E RESINAS COMPOSTAS <i>BULK-FILL</i> .....	61
2.7	TRATAMENTO TÉRMICO DE RESINAS COMPOSTAS .....	65
<b>3</b>	<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	69
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	71
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS .....	71
4.2	PROTOCOLOS DE CURA .....	75
<b>4.2.1</b>	<b>Fotopolimerização</b> .....	75
<b>4.2.2</b>	<b>Tratamento térmico</b> .....	76
4.3	GRAU DE CONVERSÃO (GC).....	77
4.4	PROPRIEDADES ÓPTICAS .....	81
<b>4.4.1</b>	<b>Parâmetro de translucidez (PT<sub>00</sub>)</b> .....	84
<b>4.4.2</b>	<b>Diferença de cor (<math>\Delta E_{00}</math>)</b> .....	84
4.5	NANODUREZA (ND) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME) .....	85
4.6	RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL (RFB) .....	90
4.7	PROFUNDIDADE DE CURA (PC) .....	91
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	95

<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	97
5.1	GRAU DE CONVERSÃO .....	97
<b>5.1.1</b>	<b>Sem tratamento térmico</b> .....	97
<b>5.1.2</b>	<b>Com tratamento térmico</b> .....	102
5.2	PROPRIEDADES ÓPTICAS.....	113
<b>5.2.1</b>	<b>Parâmetro de Translucidez (<math>PT_{00}</math>)</b> .....	114
<b>5.2.2</b>	<b>Variação de cor (<math>\Delta E_{00}</math>)</b> .....	115
5.3	NANODUREZA.....	121
<b>5.3.1</b>	<b>Em tratamento térmico</b> .....	121
<b>5.3.2</b>	<b>Com tratamento térmico</b> .....	126
5.4	MÓDULO DE ELASTICIDADE .....	132
<b>5.4.1</b>	<b>Sem tratamento térmico</b> .....	132
<b>5.4.2</b>	<b>Com tratamento térmico</b> .....	136
5.5	RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL .....	143
<b>5.5.1</b>	<b>Sem tratamento térmico</b> .....	143
<b>5.5.2</b>	<b>Com tratamento térmico</b> .....	144
5.6	PROFUNDIDADE DE CURA .....	149
<b>5.6.1</b>	<b>Sem tratamento térmico</b> .....	149
<b>5.6.2</b>	<b>Com tratamento térmico</b> .....	152
5.7	CORRELAÇÕES .....	154
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	159
6.1	GRAU DE CONVERSÃO .....	159
6.2	PROPRIEDADES ÓPTICAS.....	164
6.3	NANODUREZA.....	169
6.4	MÓDULO DE ELASTICIDADE .....	172
6.5	RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL .....	174
6.6	PROFUNDIDADE DE CURA .....	177
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	181
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	183

## 1 INTRODUÇÃO

Resinas compostas são o material restaurador direto mais utilizado em Odontologia. Desde as primeiras formulações, por muito tempo o foco no desenvolvimento de novos materiais limitou-se à fração inorgânica, de maneira que alcançamos o desenvolvimento de materiais com nanotecnologia, que proporcionam maior resistência e melhor polimento.

No começo da década de 2000, com o intuito de diminuir a tensão gerada durante a contração de polimerização nesses materiais, a atenção voltou-se para o desenvolvimento de novos monômeros que permitissem o alívio do estresse na interface adesiva. Um exemplo clássico que marcou a corrida pelo desenvolvimento de novos monômeros foi o silorano. Entretanto, ainda assim, as resinas compostas apresentavam profundidade de cura limitada a porções de até 2 mm, o que requeria a utilização da técnica incremental e não abreviava o procedimento clínico. Além disso, havia a possibilidade de contaminação entre camadas e inserção vazios nesta técnica. Uma alternativa era o uso de resinas compostas com finalidade indireta, o que permitia tratamentos adicionais de cura, como a aplicação de calor, que pode aumentar o grau de conversão e as propriedades mecânicas da restauração.

Foi, então, que no final da década de 2000, a mais recente revolução na Odontologia restauradora direta trouxe ao mercado as resinas compostas do tipo *bulk-fill*, que podem ser fotopolimerizadas em incrementos de 4 a 5 mm, abreviando a técnica restauradora. Com o intuito de garantir profundidade de cura aumentada, novos monômeros têm sido desenvolvidos, além do aumento da translucidez e da adição de co-iniciadores e sistemas fotoiniciadores alternativos à canforoquinona, especialmente aqueles que possuem pico de absorção de luz abaixo da luz azul. Para isso, novos aparelhos fotopolimerizadores foram lançados no mercado, os chamados fotopolimerizadores *polywave*, que emitem mais de um espectro de luz (violeta e azul), diferentemente dos fotopolimerizadores *monowave*, que emitem luz azul apenas.

Vários trabalhos têm avaliado o desempenho de resinas compostas *bulk-fill* nos últimos anos no que se refere principalmente à profundidade de cura, grau de conversão e resistência desses materiais. Alguns estudos clínicos têm mostrado que resinas compostas *bulk-fill* possuem desempenho comparável a compósitos convencionais. Em geral, a performance desses materiais é dependente da composição e microestrutura e pode ser influenciada por diversos fatores, como o protocolo de fotoativação e a temperatura da reação.

Com a evolução da Odontologia e o advento das técnicas *chair-side*, o conceito de restaurações semi-diretas de resinas compostas, que permitem o preparo, moldagem, confecção da restauração em modelo e cimentação em única sessão têm proporcionado economia para os profissionais e qualidade para os pacientes. Tendo em vista a popularização das resinas compostas *bulk-fill*, somente um estudo publicado objetivou estudar o comportamento desses materiais fotopolimerizados com uma unidade LED com tratamento térmico após fotoativação. Ainda não há evidências que caracterizem as principais propriedades de resinas compostas *bulk-fill* na espessura de incremento que as caracteriza utilizando diferentes unidades fotoativadoras em função de tratamento térmico após fotopolimeização.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para um melhor embasamento dos achados do presente estudo, será realizada uma revisão da literatura acerca da reação de polimerização de resinas compostas, além do advento das resinas compostas *bulk-fill* e algumas de suas propriedades, como grau de conversão, profundidade de cura, propriedades mecânicas e propriedades ópticas. Finalmente, será realizada uma revisão acerca do tratamento térmico de resinas compostas.

### 2.1 O ADVENTO DAS RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

O advento da Odontologia adesiva, a busca pela preservação dos tecidos dentários através da Odontologia minimamente invasiva e o aumento da exigência por parte dos pacientes por procedimentos estéticos fizeram das resinas compostas o material de eleição para restaurações diretas. Devido ao fato de que esses materiais possuem uma contração inerente a sua composição no momento da polimerização<sup>1,2</sup>, o que gera uma tensão na interface adesiva que pode suplantar a resistência do sistema adesivo previamente aplicado, levando a inconvenientes como a formação de soluções de continuidade na interface adesiva e sensibilidade pós operatória. Para evitar tais problemas, diversas técnicas podem ser utilizadas, desde a dosagem de luz do fotopolimerizador<sup>3</sup>, o uso de resina composta fluida na interface restauradora como primeira camada restauradora<sup>4</sup> e o pré-aquecimento da própria resina composta restauradora<sup>5</sup>, entretanto o método restaurador direto mais amplamente difundido é a Técnica de Lutz<sup>6,7</sup>. Nesta técnica, incrementos de até 2 mm de resina composta são inseridos de forma oblíqua a fim de evitar o contato entre paredes opostas do preparo, diminuindo assim o Fator C<sup>8,9</sup>. Entretanto, algumas limitações da técnica incremental são a pequena espessura de incrementos<sup>8</sup>, o que leva ao aumento do tempo de procedimento<sup>10</sup> em especial nos casos de grandes perdas de estrutura dentária, a possibilidade de contaminação entre camadas e a inserção de vazios entre incrementos<sup>11</sup>, que podem reduzir a performance mecânica da restauração.

Frente à principal limitação das resinas compostas, a tensão de polimerização, novas formulações de materiais foram propostas na década de 2000, como o monômero silorano presente na resina composta Filtek P90 (3M ESPE – St. Paul, Estados Unidos)<sup>12</sup>. Entretanto, o uso desses materiais caiu em desuso devido ao desempenho inferior em comparação aos materiais comercialmente disponíveis na época<sup>13,14</sup> e pelo fato de que a nova proposta não abreviava a técnica restauradora, sendo ainda indicada a técnica incremental oblíqua.

Com o intuito, então, de diminuir o tempo para execução do procedimento restaurador e simplificar a rotina clínica, foram desenvolvidas as resinas compostas do tipo *bulk-fill*, ou resinas compostas de preenchimento em massa, que segundo os fabricantes, podem ser inseridas e fotoativadas em incrementos de até 5 mm de espessura com baixa tensão de polimerização na interface adesiva<sup>15-17</sup>. O lançamento do primeiro produto da nova classe de materiais fazia parte da categoria de materiais de baixa viscosidade para preenchimento de cavidades, e aconteceu no ano de 2009 com a resina composta Surefil SDR (Dentsply Caulk - Milford, Estados Unidos). A proposta do novo material podia ser indicada através da sua sigla (SDR): *Smart Dentin Replacement* e *Shrinkage Decreased Resin* mostrando que o material era apropriado para a substituição de dentina com baixa contração de polimerização<sup>18</sup>.

Algumas diferenças entre as resinas compostas utilizadas na técnica incremental oblíqua, aqui chamadas de convencionais, e as resinas compostas *bulk-fill* são que estas últimas passaram por modificações na sua composição, especialmente na matriz orgânica e no conteúdo inorgânico, com o objetivo de assegurar a baixa tensão de polimerização e profundidade de cura aumentada<sup>10</sup>. Algumas estratégias são a utilização de novos monômeros, de maior peso molecular e mais flexíveis<sup>16,19-23</sup>; o aumento da translucidez do material, seja pela redução da quantidade de agentes de cor seja pela modificação do conteúdo inorgânico, permitindo maior penetração de luz<sup>22</sup>; a ativação dual, permitindo a cura química em maiores profundidades onde a disponibilidade de luz venha a ser limitada<sup>24-26</sup>; a utilização de moduladores reológicos, que minimizam a tensão de polimerização<sup>27-30</sup>; o aumento da fluidez de um material de alto conteúdo de carga no momento da inserção através do uso de vibração sônica, o que garante o desempenho mecânico de um material de alta viscosidade associado à adaptação marginal de um material de baixa viscosidade<sup>30,31</sup>; a modificação da fase inorgânica através da utilização de

cargas de reforço, como fibras de vidro, o que confere maior resistência à restauração<sup>19,32</sup>, ou a associação destes.

Dessa forma, resinas compostas *bulk-fill* podem ser classificadas comercialmente quanto a sua viscosidade em resinas compostas de alta viscosidade e de baixa viscosidade<sup>12,33,34</sup>. Estas últimas possuem menor quantidade de conteúdo inorgânico<sup>12</sup>, o que as faz indicadas para a confecção de bases, exigindo o recobrimento por uma resina composta de alto conteúdo de carga, com maior resistência ao desgaste<sup>20</sup>. Por outro lado, resinas compostas *bulk-fill* de alta viscosidade apresentam maior conteúdo de carga e podem ser indicadas para bases de restaurações ou preenchimento único até a superfície oclusal<sup>12,22</sup>. Um material em particular, SonicFill™ 2 (Kerr - Orange, Estados Unidos), apresenta alto conteúdo de carga e é inserido na cavidade com o auxílio de uma peça de mão que emite ondas sônicas quando acionada, alterando o comportamento reológico do material, que passa a se comportar temporariamente como de baixa viscosidade, proporcionando melhor adaptação às paredes do preparo<sup>30</sup>. Para melhor compreensão das indicações e uso clínico, as figuras 2.1, 2.2 e 2.3 trazem o passo a passo clínico do procedimento restaurador com resinas compostas *bulk-fill* de baixa viscosidade, alta viscosidade e de alta viscosidade ativada por ondas sônicas. As principais resinas compostas *bulk-fill* presentes hoje no mercado brasileiro e suas estratégias para uso em preenchimento único estão dispostas no quadro 2.1.

Figura 2.1 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de baixa viscosidade Opus Bulk Fill Flow (FGM – Joinvile, Brasil). **A)** dente 16 com cavidade classe I; **B,C)** após isolamento absoluto, condicionamento ácido seletivo em esmalte; **D)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **E,F)** aplicação de adesivo Universal (Ambar, FGM) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **G)** aspecto brilhante dos substratos após secagem com jato de ar e evaporação do solvente; **H)** fotoativação do agente adesivo; **I, J)** aplicação de resina composta *bulk-fill* de baixa viscosidade (Opus Bulk Fill Flow, FGM) a partir dos ângulos internos do preparo; **K,L,M)** aplicação da resina composta *bulk-fill* como base em toda a parede pulpar do preparo, respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (4 mm); **N,O,P,Q)** extrusão de material; **R)** fotoativação da resina composta *bulk-fill* segundo recomendação do fabricante; **S,T,U,V,W,X)** cobertura oclusal incremental com resina composta convencional (Opallis, FGM) e fotoativação entre incrementos; **Y)** fotoativação final da restauração; **Z)** aspecto final da restauração após acabamento e polimento



Fonte: O autor com colaboração de Nishida AC.

Figura 2.2 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de alta viscosidade Aura Bulk Fill (SDI – Victoria, Austrália). **A)** dente 36 com cavidade classe I; **B)** após isolamento absoluto, condicionamento ácido seletivo em esmalte; **C)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **D,E,F,G)** após secagem, aplicação de agente adesivo autocondicionante (Go!, SDI) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **H)** secagem da cavidade com jato de ar; **I)** remoção do excesso de adesivo com pincel aplicador seco; **J)** fotoativação do agente adesivo; **K,L)** inserção da resina composta Aura Bulk Fill (SDI) em incremento único respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (4 mm); **M)** condensação vertical da resina composta para garantir adaptação do material às paredes do preparo; **N)** aspecto da restauração após escultura; **O)** fotoativação da restauração segundo recomendação do fabricante; **P)** acabamento e polimento da restauração; **Q,R)** aspecto final da restauração

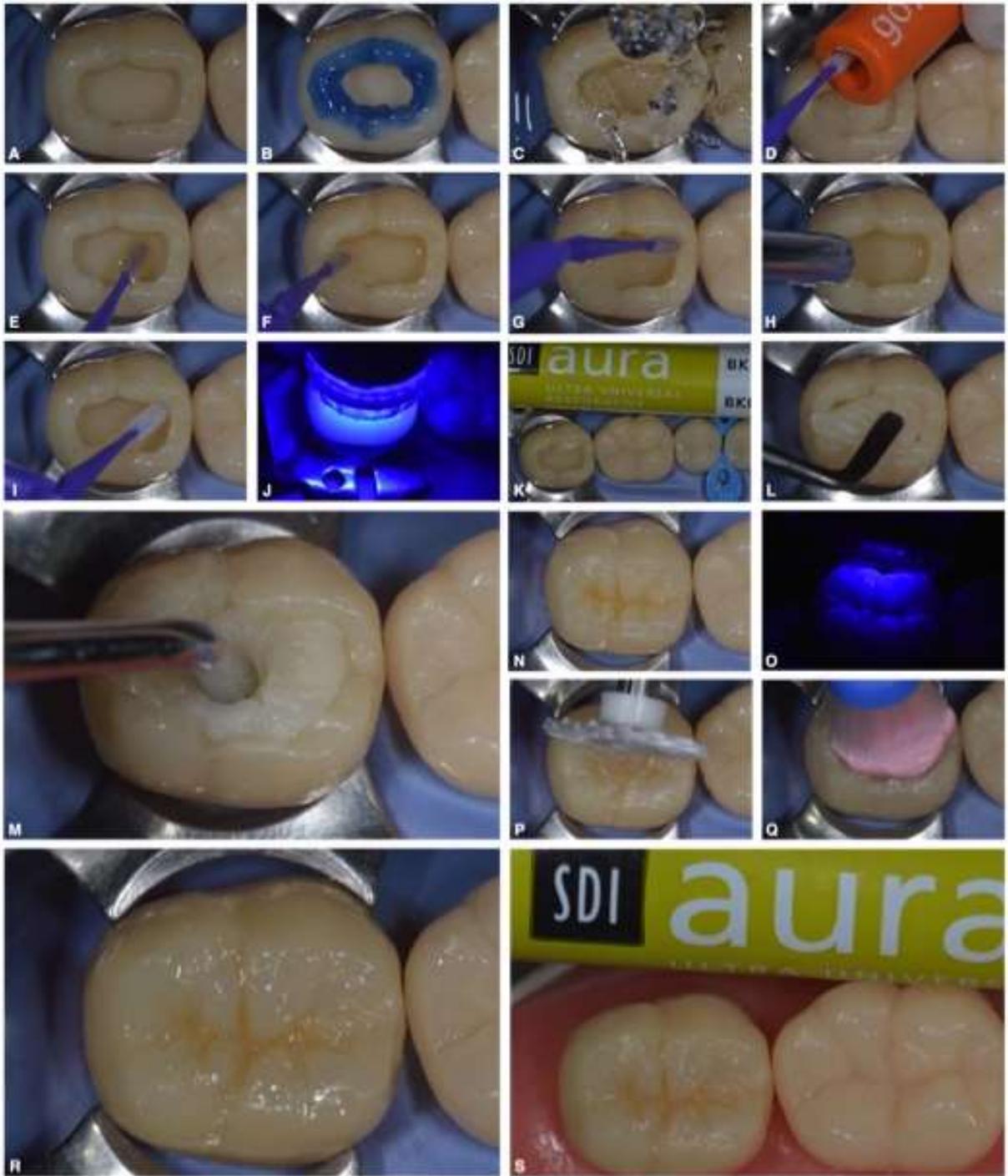


Figura 2.3 - Procedimento restaurador com resina composta *bulk-fill* de alta viscosidade de ativação sônica SonicFill (Kerr). **A)** dente 26 com cavidade classe II (mésio-oclusal); **B)** após isolamento absoluto e proteção do dente 15 com tira isolante (TDV Dental – Pomerode, Brasil), condicionamento ácido seletivo em esmalte; **C)** lavagem abundante da cavidade por tempo igual ou superior ao de condicionamento; **D,E)** aplicação de agente autocondicionante (Optibond All-In-One, Kerr – Orange, Estados Unidos) de forma ativa sobre esmalte e dentina; **F)** após secagem e evaporação do solvente, fotoativação do agente adesivo; **G)** remoção da tira isolante do dente (TDV Dental)15; **H)** colocação de matriz individual de aço Supermatt (Kerr – Orange, Estados Unidos); **I)** adaptação da matriz de aço à parede gengival do preparo com o auxílio de cunha de madeira; **J)** cápsula de SonicFill a ser acoplada em peça de mão do sistema; **K,L,M,N)** inserção da resina composta durante extrusão do material com energia sônica de 6.100 Hertz desde a parede gengival até o preenchimento em excesso das porções oclusal e proximal do preparo respeitando a espessura máxima recomendada pelo fabricante (5 mm); **O,P)** condensação vertical da resina composta para garantir adaptação do material às paredes do preparo; **Q)** aspecto após preenchimento da cavidade e condensação vertical; **R)** condensação horizontal do material às margens do preparo; **S)** escultura da restauração; **T)** fotoativação oclusal da restauração segundo recomendação do fabricante; **U)** remoção da matriz de aço individual; **V, W)** fotoativação adicional das faces vestibular e palatina segundo recomendação do fabricante; **X)** acabamento proximal com discos de lixa Optidisc (Kerr); **Y)** polimento da restauração; **Z)** aspecto final da restauração



Fonte: O autor com colaboração de Nishida AC.



Quadro 2.1 - Resinas compostas *bulk-fill* comercialmente disponíveis no mercado brasileiro

<b>Classificação quanto à viscosidade</b>	<b>Nome comercial</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Estratégia para incremento único</b>	<b>Indicação</b>	<b>Espessura máxima de incremento</b>
Baixa viscosidade	Admira Fusion X-Base	VOCO	Tecnologia ORMOCER à base de óxido de silício	Base	4 mm
	Filtek Bulk Fill Flow	3M ESPE	Utilização de resinas à base de poliacrilato e monômero EBPADMA	Base	4 mm
	Opus Bulk Fill Flow	FGM	Utilização de sistema avançado de polimerização (APS)	Base	5 mm
	Surefil SDR	Dentsply	Utilização de moduladores reológicos da polimerização e UDMA-modificado.	Base	4 mm
	Tetric N-Flow Bulk Fill	3M ESPE	Adição de fotoiniciador secundário à canforoquinona (Ivocerin®)	Base	4 mm
	X-Tra Base	VOCO	Indisponível	Base	4 mm
Alta viscosidade	Admira Fusion X-tra Universal	VOCO	Tecnologia ORMOCER à base de óxido de silício	Preenchimento único	4 mm
	Aura Bulk Fill	SDI	Indisponível	Preenchimento único	4 mm
	Filtek One Bulk Fill	3M ESPE	Monômeros AUDMA e AFM	Preenchimento único	5 mm
	Opus Bulk Fill	FGM	Utilização de sistema avançado de polimerização (APS)	Preenchimento único	5 mm
	SonicFill™ 2	Kerr	Moduladores reológicos da reação de polimerização; alto conteúdo de carga; inserção sônica	Preenchimento único	5 mm
	Tetric N-Ceram Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	Fotoiniciador complementar à canforoquinona (Ivocerin®), partículas de carga pré-polimerizadas	Preenchimento único	4 mm
	X-tra Fil	VOCO	Indisponível	Preenchimento único	4 mm

Fonte: O autor.

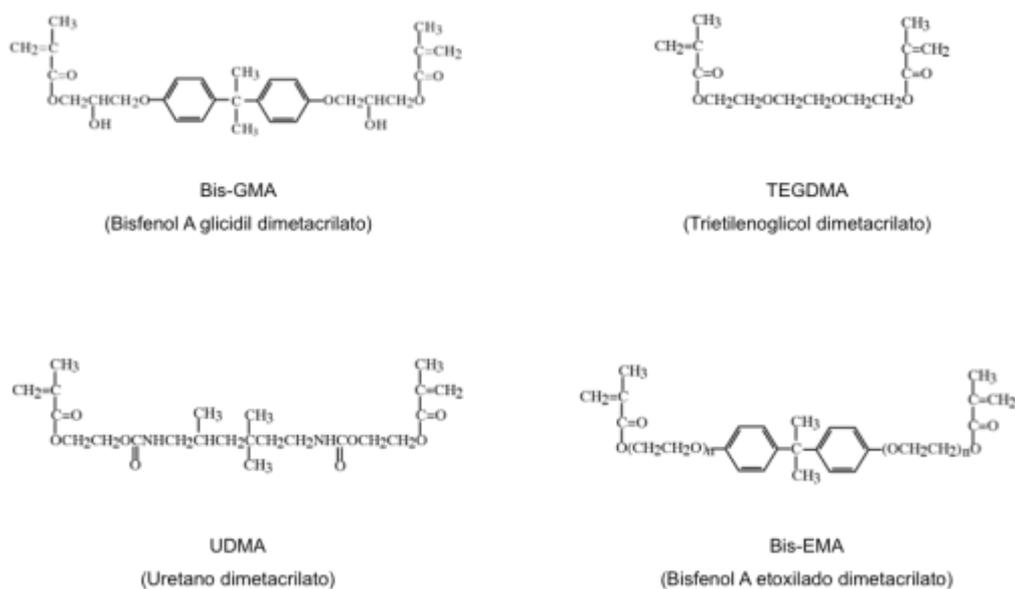


## 2.2 REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E GRAU DE CONVERSÃO DE RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

O grau de conversão é a chave mestra para a avaliação da eficiência da polimerização em materiais poliméricos<sup>35</sup>, sendo esta propriedade preditora do desempenho mecânico da restauração<sup>36</sup>. Poderíamos aqui nos ater à definição de que o grau de conversão é a avaliação quantitativa de ligações duplas de carbono (C=C) em dois momentos específicos: antes e depois da polimerização<sup>37</sup>. Entretanto, a discussão dos resultados a serem apresentados neste estudo requerem um entendimento mais abrangente da reação de polimerização e da conversão monomérica em resinas compostas.

Um dos principais componentes das resinas compostas é a sua matriz orgânica, formada essencialmente por monômeros do tipo dimetacrilato, que apresentam um grupo funcional metacrilato em cada uma de suas extremidades (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Monômeros dimetacrilatos mais comumente utilizados na formulação de resinas compostas (adaptado de Sideridou et al., 2002)



Fonte: Adaptado de Sideridou et al. (2002)<sup>38</sup>

No caso das resinas compostas fotoativadas, a primeira fase da reação, também chamada de **iniciação**, caracteriza-se pela sensibilização de um sistema iniciador formado por uma molécula fotossensível, geralmente a canforoquinona, e uma amina terciária por luz azul (comprimento de onda entre 468 e 470 nm)<sup>2,39</sup>. Isso leva ao excitação da molécula de canforoquinona, que interage com a amina terciária, levando à formação de radicais livres com energia suficiente para clivar ligações secundárias C=C presentes nos grupos funcionais metacrilato em monômeros dimetacrilato, gerando um centro reativo. Cada monômero sensibilizado passa a agir, então, como um novo radical livre capaz de estabelecer ligação primária C-C com outro centro reativo<sup>40</sup>, o que gera uma reação em cadeia<sup>2</sup>, terminando na formação de cadeias poliméricas longas pela adição sucessiva de centenas ou milhares de moléculas de monômeros<sup>40</sup> ou de forma tridimensional devido ao estabelecimento de ligações cruzadas entre cadeias existentes<sup>2,41,42</sup>. Este processo, chamado **propagação**, ocorre até que o crescimento das cadeias poliméricas cesse devido à desativação de um centro reativo através do estabelecimento de uma ligação primária C-C entre monômeros por um processo chamado **terminação**<sup>2,40</sup>.

Durante a reação de polimerização, especialmente no momento da propagação, dois fenômenos importantes podem ser observados. No primeiro deles, chamado **autoaceleração**, a quantidade de unidades monoméricas disponíveis diminui à medida que a taxa de polimerização aumenta<sup>42</sup>, de forma que a taxa de propagação é maior que a taxa de terminação, e uma densa e viscosa rede é formada pelo aumento de cadeias poliméricas. Com o progresso da reação, a mobilidade dos radicais se torna cada vez menor até que as taxas de propagação e terminação se igualem<sup>36</sup>. O aumento da vitrificação da massa faz com que ambos eventos propagação e terminação se tornem difuso-controlados, caracterizando assim a **autodesaceleração** da reação, o que diminui drasticamente a taxa de polimerização<sup>42</sup>. Dito isso, se faz importante destacar o fato de que devido aos eventos de autoaceleração e autodesaceleração, a conversão absoluta de 100% de monômeros em polímeros é improvável<sup>43</sup>.

Vários fatores podem afetar o grau de conversão final de compósitos, dentre eles fatores intrínsecos como a composição química e estrutural dos monômeros dimetacrilato<sup>44</sup>, o fotoiniciador usado e sua concentração<sup>35</sup>, além do procedimento de fotoativação<sup>45</sup> ou tratamentos de cura adicionais<sup>25,46-48</sup>.

Para alcançar altos valores de grau de conversão, as novas formulações de resinas compostas *bulk-fill* apresentam maior translucidez, permitindo a disponibilidade de luz azul em regiões mais profundas da restauração<sup>34,49-52</sup>, o uso de novas formulações monoméricas, especialmente aquelas com menores pesos moleculares e maior flexibilidade a fim de diminuir a tensão de polimerização<sup>29,53,54</sup>, o uso de novos sistemas fotoiniciadores<sup>55</sup> capazes de aumentar a propagação da reação de polimerização, e em casos onde a translucidez não pode ser ajustada em virtude das propriedades estéticas, a ativação dual do material<sup>24-26</sup>.

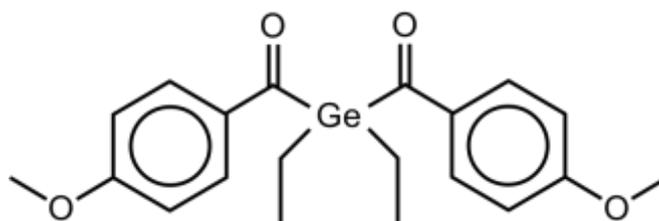
Resinas compostas *bulk-fill* são mais translúcidas em relação às resinas compostas convencionais<sup>34,50-52</sup>, seja pela diminuição na quantidade de opacificadores e agentes de cor, seja pela modificação do conteúdo de carga<sup>34</sup> através do controle de diferença de índices de refração de luz entre a matriz orgânica e a fração inorgânica<sup>38,50</sup>. Menores tamanhos de partículas de carga aumentam a compatibilidade dos índices de refração de luz entre os dois componentes<sup>56,57</sup>. Assim, uma maior dose de luz é transmitida até a base das restaurações<sup>50,58</sup> e uma manutenção do grau de conversão pode ser observada em profundidade<sup>23,51,59,60</sup>. Em trabalho conduzido por Bucuta e Ilie (2014), uma dose padrão de luz foi aplicada sobre a superfície de espécimes de 4 mm de espessura de diferentes resinas compostas convencionais e *bulk-fill* e a quantidade de luz transmitida até a base foi aferida. Para resinas compostas convencionais, a transmissão de luz diminuiu drasticamente à medida que a profundidade aumentou. Por outro lado, alguns materiais *bulk-fill* apresentaram doses mínimas de energia na base, estatisticamente maiores que todas as resinas compostas convencionais avaliadas no estudo<sup>50</sup>.

Um dos exemplos clássicos do uso de novas formulações monoméricas em resinas compostas *bulk-fill* é a Surefil SDR (Dentsply Caulk). Neste material, o uso do TEGDMA, conhecidamente responsável por aumentar o grau de conversão em compósitos<sup>42,61</sup>, como principal monômero diluente<sup>62</sup>

e o aumento da translucidez<sup>50</sup> são capazes de gerar um alto grau de conversão, variando entre 61,2% e 81,2%<sup>15,59,60,63</sup> na profundidade de 4 mm e podendo chegar a 60,1% na base de espécimes de 6 mm<sup>59</sup>. Em contrapartida, para compensar a tensão de polimerização gerada pelas características acima<sup>64</sup>, o principal componente da matriz orgânica é uma variação do monômero UDMA, patente do fabricante, chamado de UDMA-modificado, de alto peso molecular (849 g/mol<sup>65</sup>) com uma estrutura que contém um *core* flexível, capaz de sofrer relativa relaxação, diminuindo a transferência de tensões à interface adesiva.

Quando o aumento da translucidez é evitado em virtude da manutenção das propriedades estéticas<sup>50</sup>, uma estratégia adotada a fim de garantir um adequado grau de conversão em resinas compostas *bulk-fill* é a modificação do sistema fotoiniciador. Este é o caso da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent – Schaan, Liechtenstein), que possui um fotoiniciador à base de germânio suplementar à canforoquinona, chamado Ivocerin<sup>®12,33</sup> (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Molécula do Ivocerin<sup>®</sup>, fotoiniciador à base de germânio, presente na composição da resina Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent - Schaan, Liechtenstein)



Fonte: Ivoclar Vivadent<sup>55</sup>.

Diferente do sistema convencional amina terciária/canforoquinona, a reação é iniciada com a formação de dois radicais livres por molécula de Ivocerin<sup>®</sup>, o dobro formado por uma molécula de canforoquinona, e não há a necessidade de moléculas co-iniciadoras<sup>66,67</sup>. Um outro sistema de polimerização, chamado APS (*Advanced Polymerization System*) foi desenvolvido pela empresa brasileira FGM e é usado em suas resinas compostas *bulk-fill*. Entretanto, o desempenho desses materiais parece controverso<sup>68,69</sup>.

Uma outra estratégia objetivando a manutenção do grau de conversão em profundidade em resinas compostas *bulk-fill* é a polimerização dual, de forma a garantir que a iniciação da reação de polimerização aconteça em regiões mais profundas, onde a pouca disponibilidade de luz afetaria negativamente a polimerização, especialmente em materiais menos translúcidos. Um trabalho recente mostrou que o grau de conversão de resinas compostas *bulk-fill* duais esteve entre 68,55% e 76,24% em profundidades de até 5 mm, maior que o grau de conversão de uma resina composta *bulk-fill* e uma convencional, ambas fotoativadas (45,5% - 57,1%) nas mesmas condições. Avaliando a cinética da reação de polimerização das resinas compostas duais estudadas, os autores encontraram que a ativação por luz provê uma rápida polimerização inicial das camadas superiores, estabilizando a restauração, enquanto que as camadas mais profundas que receberam menor irradiação de luz são polimerizadas por uma lenta reação química, que pode até mesmo diminuir os efeitos da contração de polimerização nessas regiões<sup>24</sup>.

Ainda que com translucidez aumentada, o uso de resinas compostas *bulk-fill* em preparos mais profundos onde a espessura máxima de polimerização recomendada pelo fabricante é adotada, a transmissão de luz pode estar comprometida<sup>70,71</sup>. Um trabalho conduzido por Price et al. (2010) concluiu que a energia emitida por unidades fotoativadoras é dependente da técnica de fotoativação do operador, da escolha da unidade fotoativadora e do local do preparo<sup>72</sup>. Tais achados levantam a preocupação de que com menores doses de energia, menores valores de conversão podem ser observados e, conseqüentemente, efeitos adversos aos tecidos pulpare e gengivais podem

ocorrer<sup>73</sup>. Dessa forma, apesar de resinas compostas *bulk-fill* apresentarem grau de conversão aumentado em relação às resinas compostas convencionais, seu uso deve sempre levar em consideração a situação clínica e as peculiaridades de cada caso.

### 2.3 PROFUNDIDADE DE CURA DE RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

Muito antes do advento dos compósitos *bulk-fill* já se falava em profundidade de cura de resinas compostas. Em 1987, um estudo de DeWald e Ferracane comparou quatro diferentes métodos usados na obtenção da profundidade de cura de compósitos fotoativados e concluiu que esta propriedade pode variar em função de diversos fatores, dentre eles a matriz orgânica, o conteúdo de carga, a translucidez do material e a intensidade de luz irradiada<sup>74</sup>.

Com o lançamento dos compósitos *bulk-fill*, o estudo da profundidade de cura de resinas compostas voltou à evidência. A literatura dispõe de diferentes métodos para medição desta propriedade, entretanto ainda não há um consenso acerca da metodologia mais adequada. Além das variáveis citadas por DeWald e Ferracane<sup>74</sup> e confirmadas por outros trabalhos mais recentes<sup>43,58</sup>, fatores como o material do molde e o diâmetro do espécime também podem influenciar no resultado<sup>43,75</sup>.

A Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*) recomenda o método do *scrapping* para a medição da profundidade de cura de compósitos odontológicos através da norma ISO 4049:2009, onde uma porção de material é fotoativada em um molde metálico de 4 mm de diâmetro e de comprimento pelo menos 2 mm maior que o dobro da profundidade de cura recomendada pelo fabricante. Após a desinclusão do espécime de dentro do molde, a porção não polimerizada na base é removida com uma espátula plástica e a profundidade de cura é calculada baseada em uma fórmula proposta pela norma<sup>76</sup>. Apesar de tal

metodologia ter sido utilizada por diversos autores<sup>19,31,77,78</sup>, fatores como o operador, a rigidez e a capacidade de corte da espátula<sup>75</sup> podem superestimar os resultados<sup>79</sup>. Dessa forma, alguns autores têm confeccionado espécimes de comprimento referente à profundidade de cura recomendada pelos fabricantes e sugerido que esta propriedade pode ser avaliada através de uma relação de grau de conversão<sup>23,80</sup> ou dureza<sup>8,10,12,22,23,59,81</sup> base/topo de no mínimo 0,8, ou 80%.

Apesar da falta de consenso em relação à metodologia mais adequada, a profundidade de cura de compósitos *bulk-fill* é o parâmetro chave que os diferencia de resinas compostas convencionais, sendo principalmente limitada pela atenuação de luz, que por sua vez possui correlação inversa com a translucidez do material<sup>80</sup>. Como consequência da maior penetração de luz e pelos mesmos motivos que levam ao maior grau de conversão anteriormente citados, a profundidade de cura de compósitos *bulk-fill* é maior do que a observada em resinas compostas convencionais, podendo chegar a valores que variam entre 4,19 e 6,94 mm<sup>8,12,31</sup>. Em alguns casos a relação base/topo na espessura recomendada pelos fabricantes pode chegar a 1, ou 100%<sup>23,25</sup>, demonstrando que o material é capaz de polimerizar uniformemente em profundidade.

Rizzante et al. compararam a profundidade de cura através da relação base/topo de 0,8 (ou 80%) de sete compósitos *bulk-fill* e dois convencionais. Enquanto que os menores valores (2,63 mm e 3,63 mm) foram observados para os compósitos convencionais, todos os *bulk-fill* apresentaram profundidade de cura superior à recomendada pelo fabricante, com valores que chegaram a 6,94 mm<sup>12</sup>. Em um outro trabalho, a relação base/topo através do grau de conversão e da dureza de cinco resinas compostas *bulk-fill* e duas convencionais foi de 100% considerando o grau de conversão, e de 99% quando a dureza foi considerada o parâmetro de profundidade de cura<sup>23</sup>. Em contraste, um estudo recomendou cautela quanto ao uso de resinas compostas *bulk-fill* devido ao fato de que nenhum dos quatro materiais estudados foi capaz de alcançar profundidade de cura maior que 3 mm<sup>82</sup>.

## 2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

Dentre as propriedades mecânicas de resinas compostas, faremos uma revisão da literatura acerca de compósitos *bulk-fill* no que diz respeito à dureza, módulo de elasticidade e resistência à flexão, propriedades diretamente relacionadas ao conteúdo inorgânico<sup>8,83-85</sup>. Um trabalho conduzido por Ilie e Hickel avaliou as propriedades micro e macro mecânicas de 72 compósitos comerciais e concluiu que o conteúdo de carga foi o fator de maior influência no desempenho mecânico dos materiais, especialmente no que se refere à resistência à flexão e módulo de elasticidade<sup>84</sup>.

O conteúdo de carga em resinas compostas *bulk-fill* pode variar entre 64 e 75% em peso, e entre 38 e 61% em volume, de forma que a maioria dos compósitos *bulk-fill* de alta viscosidade possui conteúdo de carga entre 79 e 86% em peso, ou entre 61 e 81% em volume<sup>33</sup>. Dada a correlação positiva entre conteúdo inorgânico e desempenho mecânico já demonstrada na literatura<sup>83-85</sup>, resinas compostas *bulk-fill* de alta viscosidade tendem a apresentar propriedades mecânicas melhoradas em comparação àquelas de baixa viscosidade da mesma categoria<sup>25,83</sup>.

Por definição, dureza é a capacidade de um material de resistir à deformação plástica por penetração, calculada como a força do teste pela área aparente de endentação sob esta força<sup>20,59,83,86</sup> e pode ser classificada como macro, micro e nanodureza de acordo com a força aplicada e a deformação causada no material<sup>87</sup>. No estudo das resinas compostas, micro<sup>12,25,88-90</sup> e nanodureza<sup>83,85,91,92</sup> têm sido frequentemente utilizadas.

A dinâmica da mensuração da nanodureza de um compósito resinoso é bem mais complexa e mais precisa em comparação à realizada na microdureza. O processo de leitura da nanodureza envolve a aplicação controlada e precisa de uma força de carregamento, seguido de sua manutenção constante por tempo determinado para anulação da deformação tempo-dependente do material através da saturação do *creeping*, e por fim o

descarregamento da força de endentação, levando em consideração a mensuração exata da profundidade de penetração<sup>83,93</sup>. Sendo assim, a nanodureza permite a obtenção da resposta do material a partir da deformação plástica em profundidade e não apenas a partir da profundidade final da endentação<sup>83</sup>. Através do mesmo teste de nanoindentação, é possível a obtenção do módulo de elasticidade<sup>86,94</sup>, que descreve a rigidez do material<sup>83,95</sup>.

Apesar de a comparação entre materiais ter sido reportada na literatura para parâmetros como micro/nanodureza e módulo de elasticidade<sup>96,97</sup>, as diferentes naturezas de composição e microestrutura dos materiais pode limitar tal comparação. Por outro lado, a análise dos mesmos parâmetros em diferentes profundidades dentro de um mesmo material é válida e já foi relatada na literatura<sup>8,12,22,23,90,98</sup>. Issa et al. mostraram que a nanodureza e o módulo de elasticidade de duas resinas compostas *bulk-fill* foram influenciados pela posição do fotopolimerizador<sup>98</sup>. Em 2017, Pereira<sup>90</sup> estudou o desempenho de quatro compósitos *bulk-fill* em função da profundidade e concluiu que propriedades como microdureza Knoop e módulo de elasticidade tendem a diminuir significativamente com o aumento da profundidade devido à menor disponibilidade de luz para ativação da reação de polimerização em regiões mais profundas. Na tentativa de compensar esse inconveniente em materiais menos translúcidos, a ativação dual pode garantir dureza constante em profundidade ao longo de espécimes de 4 mm de espessura<sup>25</sup>. Tendo em vista que a dureza pode ser positivamente correlacionada ao grau de conversão<sup>74,81,99,100</sup>, tem-se hipotetizado que na resina composta SonicFill, apesar da redução na dureza e módulo de elasticidade em profundidade<sup>74,81,99,100</sup>, a aplicação sônica do material poderia manter as moléculas de monômeros em um estado vibracional por algum tempo após a inserção, o que facilitaria a conversão em profundidade.

A resistência de um material é um bom parâmetro para avaliar o desempenho mecânico de resinas compostas e que pode predizer o seu desempenho clínico<sup>101</sup>. Comumente utilizada<sup>10,20,25,59,90,102-106</sup>, a resistência à flexão representa a tensão experimentada por um material no momento da sua ruptura<sup>25,95</sup> e está diretamente relacionada à dureza e ao módulo de

elasticidade<sup>107,108</sup>, além do conteúdo de carga<sup>19,36,44,102,106,109</sup> devido ao fato de que a adesão entre a matriz orgânica e a fase inorgânica permite a transferência da tensão gerada da matriz polimérica para as partículas de carga<sup>19</sup>. Variáveis como conteúdo da matriz resinosa<sup>19,110</sup>, protocolo de fotoativação<sup>96,106</sup>, grau de conversão<sup>111</sup>, quantidade de monômeros não reagidos<sup>37</sup> e tratamentos de cura pós-fotoativação<sup>37,104,105,112,113</sup> podem influenciar na resistência à flexão.

Levando em consideração que materiais de um mesmo fabricante apresentam composições semelhantes, um estudo inédito recente comparou o desempenho de compósitos *bulk-fill* de alta e baixa viscosidade e suas equivalentes convencionais em diferentes condições, inclusive em meios como ar, saliva artificial, ácido cítrico e etanol 50%. O armazenamento em etanol implicou na diminuição do desempenho de todos os materiais. Devido ao maior conteúdo de carga, resinas compostas *bulk-fill* de alta viscosidade apresentaram módulo de elasticidade maior que resinas compostas *bulk-fill* de baixa viscosidade e seus correspondentes convencionais. Quando marcas comerciais dentro de uma mesma classificação quanto à viscosidade foram comparadas, a resistência à flexão variou em função da composição. Interessantemente, resinas compostas *bulk-fill* de baixa viscosidade apresentaram maior resistência à flexão em comparação aos demais materiais, o que foi justificado pelo relativo alto conteúdo inorgânico, resiliência e capacidade de suportar maiores tensões antes da fratura desses materiais<sup>95</sup>. Por outro lado, outros trabalhos têm mostrado que a resistência à flexão de resinas compostas *bulk-fill* pode ser semelhante<sup>20,31</sup> às convencionais.

Com o intuito de elevar a resistência mecânica, alguns autores e fabricantes têm proposto a modificação da fração inorgânica de compósitos através da inserção de *whiskers*<sup>114,115</sup> e fibras de carbono<sup>103,116-121</sup>. Um trabalho conduzido por Rodrigues-Júnior<sup>25</sup> avaliou sete compósitos *bulk-fill*, sendo três deles de baixa viscosidade e quatro de alta viscosidade frente a uma resina composta convencional de alta viscosidade. Os resultados mostraram que resinas compostas de alta viscosidade apresentam maior resistência que as de baixa viscosidade. Além disso, a presença de fibras de carbono como reforço da fração inorgânica em um dos compósitos testados

revelou um comportamento distinto de fratura, não catastrófico, classificado como falha estatística, diferente do padrão de falha instantâneo observado na maioria das resinas compostas<sup>25</sup>. De forma semelhante, Garoushi et al. estudaram o efeito da adição de fibras de vidro de 1,3 a 2 mm de comprimento em um compósito *bulk-fill* e encontraram melhores propriedades mecânicas em comparação a resinas compostas que não continham este reforço, com tenacidade à fratura chegando a 4,6 MPa m<sup>1/2</sup><sup>19</sup>.

## 2.5 PROPRIEDADES ÓPTICAS DE RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

A compatibilidade de cor entre uma restauração e a estrutura dentária adjacente é crucial para o sucesso estético da restauração<sup>122</sup>. Com o objetivo de mimetizar os diferentes substratos dentários, a adição de pigmentos à base de óxidos metálicos é o principal meio de caracterização óptica de resinas compostas<sup>123,124</sup>. Entretanto, outros componentes como a matriz orgânica, fração inorgânica<sup>123,125</sup> e a silanização entre esses componentes<sup>126</sup> também exercem influência sobre parâmetros ópticos. Por exemplo, o aumento do conteúdo inorgânico, tanto em volume quanto em tamanho de partículas, aumenta a opacidade<sup>125,127-129</sup> em função da maior dispersão de luz no interior do material<sup>34,129</sup>.

Diferente de resinas compostas convencionais, comumente disponíveis em diferentes cores na escala VITA, a maioria dos compósitos *bulk-fill* apresenta uma gama limitada de cores, devido ao fato de que para garantir a polimerização de porções mais espessas, a translucidez nesses materiais é aumentada<sup>22,34,49-52</sup>. Isso se traduz comercialmente pelo fato de a maioria dos materiais, especialmente os de baixa viscosidade, apresentarem apenas uma cor, denominada Universal. Em trabalho de Bucuta e Ilie<sup>50</sup>, diversos compósitos *bulk-fill* se mostraram mais translúcidos à luz azul, de forma que a energia observada ao final da fotoativação na base de espécimes de 4 mm de espessura chegou a 6,2 J/cm<sup>2</sup>.

Son et al. avaliaram o efeito da atenuação de luz e do conteúdo de carga na dureza, contração de polimerização e translucidez de resinas compostas *bulk-fill*. O aumento da translucidez esteve associado à menor atenuação de luz. Compósitos *bulk-fill* se mostraram mais translúcidos que resinas compostas convencionais, o que permitiu maior passagem de luz e garantiu discreta variação de dureza em profundidade. À medida que a fração inorgânica (volume e tamanho de partículas) aumentou, a translucidez dos materiais diminuiu. Ainda que apresentando menor atenuação de luz em comparação às resinas compostas convencionais, as resinas compostas *bulk-fill* apresentam uma maior dispersão de luz à medida que a espessura do material aumentou devido à diferença nos índices de refração entre matriz orgânica e fração inorgânica em profundidade<sup>34</sup>.

Tendo em vista a demanda estética por restaurações menos translúcidas e com maior gama de cores, algumas resinas compostas *bulk-fill* passaram por modificações na sua composição com o objetivo de melhorar suas propriedades ópticas. A resina composta Filtek One (3M ESPE) é a primeira no mercado a apresentar 5 cores (A1, A2, A3, B1 e C2) e, segundo o fabricante, passou por uma alteração em sua composição desde a sua predecessora (Filtek Bulk Fill Posterior), o que diminuiu sua translucidez e aumentou a razão de contraste<sup>54</sup>. Um outro exemplo, a resina composta SonicFill™ 2 (Kerr – Orange, Estados Unidos) foi lançada em substituição a sua antecessora SonicFill. Segundo o fabricante, a recente versão apresenta uma nova composição inorgânica associada a melhores propriedades ópticas e maior profundidade de cura<sup>30,80</sup>.

Um estudo realizado por Barutçigil et al. avaliando as propriedades ópticas e a estabilidade de cor de resinas compostas *bulk-fill* mostrou que alteração de cor antes e após a polimerização foi maior na nova classe de materiais em comparação às resinas compostas convencionais. Além disso, os compósitos *bulk-fill* sofreram maior alteração de cor em diferentes soluções, com maior variação em vinho tinto e café após 3 semanas na comparação com a resina composta convencional estudada<sup>130</sup>.

## 2.6 UNIDADES FOTOATIVADORAS E RESINAS COMPOSTAS *BULK-FILL*

A adequada polimerização é crucial para o sucesso de restaurações em resina composta<sup>131</sup>. Apesar de não haver provas elusivas, parece lógico que se resinas compostas não recebem suficiente energia, as restaurações não irão atingir as propriedades mecânicas desejadas. Nesse sentido, a unidade fotoativadora é parte essencial do processo de polimerização de resinas compostas<sup>132</sup>.

As primeiras unidades fotoativadoras de luz azul utilizadas em Odontologia foram as lâmpadas halógenas de quartzo-tungstênio (QHT). Esses aparelhos emitiam luz incandescente de amplo espectro, UV e branca, que era filtrada com o objetivo de restringir a emissão de luz a um espectro mais estreito, azul. Entretanto, fatores como a degradação da lâmpada de QHT e a perda de eficiência do filtro causavam a diminuição da energia emitida com o tempo, o que levou ao seu desuso<sup>39,133</sup> e gradual substituição por outras fontes de luz, como a luz LED (*light-emitting diode*)<sup>134</sup>, hoje considerada o dispositivo padrão ouro na fotoativação em Odontologia<sup>133</sup>. Fotopolimerizadores do tipo LED emitem luz num espectro mais estreito de luz, não requerendo a utilização de filtros<sup>39</sup>. Atualmente, todavia, ainda é possível encontrar ambos tipos de unidades fotoativadoras nos consultórios odontológicos.

A canforoquinona, principal fotoiniciador presente em resinas compostas<sup>131,135</sup> e responsável pelo desencadear da reação de polimerização possui pico de absorção entre 468 e 470 nm<sup>2,39</sup>. Nesses casos, o uso de um fotopolimerizador que emita luz azul é indicado. Um exemplo é o LED Radium Plus (SDI – Victoria, Austrália), que emite luz azul de espectro entre 440 e 480 nm<sup>136</sup>. Entretanto, em alguns casos fotoiniciadores alternativos, como o Ivocerin<sup>®</sup>, com pico de absorvância entre 400 e 450 nm podem estar presentes em resinas compostas *bulk-fill*<sup>67,135</sup>. Para esses materiais, faz-se necessário o uso de LEDs de múltiplos espectros<sup>135</sup>. De maneira equivocada e corriqueira, LEDs que emitem mais de um espectro de luz são chamadas de LEDs de

amplo espectro. Entretanto, este termo é equivocado, haja vista que ao invés de um espectro aumentado, tais unidades emitem dois ou mais estreitos espectros de luz com diferentes picos máximos específicos. Assim, a correta nomenclatura para esses aparelhos é LED *polywave*<sup>133</sup>.

O Bluephase G2 (Ivoclar Vivadent – Schaan, Liechtenstein) é um fotopolimerizador LED *polywave* que possui 4 diodos emissores de luz. Um deles emite luz violeta, com pico a 410 nm, enquanto os outros três diodos emitem luz azul com pico de 470 nm<sup>137</sup>. Outro exemplo é o LED VALO (Ultradent - South Jordan, Estados Unidos), que segundo o fabricante emite luz no comprimento de onda entre 395 a 415 nm e 440 a 480 nm.

A dose mínima necessária para a adequada polimerização de resinas compostas ainda é um tema controverso. Estudos recentes têm mostrado que a dose mínima para a polimerização de resinas compostas *bulk-fill* pode variar entre 14 e 20 J/cm<sup>2</sup><sup>58,138</sup>. AlQahtani et al. aplicaram doses padrão de energia com três diferentes unidades fotoativadoras e encontraram que a profundidade de cura das resinas compostas estudadas variou de acordo com a fonte de luz. Enquanto que a resina composta convencional testada alcançou profundidade de cura de 2 mm com as unidades de QTH e LED, o compósito *bulk-fill* estudado não chegou à profundidade de cura recomendada pelo fabricante quando a fonte QTH foi usada. O uso de LED *polywave* garantiu maior profundidade de cura para ambos materiais<sup>139</sup>.

Não somente a dose, mas também o protocolo de fotoativação é importante para o desempenho de resinas compostas *bulk-fill*. Besegato et al. investigaram o efeito de dois protocolos de fotoativação em propriedades de resinas compostas *bulk-fill*, ambos com uma mesma unidade fotoativadora LED *polywave*. No primeiro protocolo, chamado de padrão, os materiais foram fotoativados por 20 segundos sob irradiância de 1.000 mW/cm<sup>2</sup>, enquanto que no segundo, chamado *xtra power*, o tempo de fotoativação foi de 6 segundos sob irradiância de 3.200 mW/cm<sup>2</sup>. O protocolo *xtra power* não foi capaz de garantir maior profundidade de cura e a dureza na base dos espécimes de 4 mm foi menor que no protocolo padrão. Uma explicação para esse achado é que a alta energia do protocolo *xtra power* tenha vitrificado de forma mais

intensa as porções superiores dos espécimes, gerando menos radicais nas porções mais distantes da fonte de luz, o que resultou em uma taxa de polimerização mais lenta<sup>69</sup>. Assim, a performance do material é dependente não somente da dose, mas também da qualidade de entrega da luz, nesse caso menor irradiância por mais tempo.

Levando em consideração as diferentes composições de resinas compostas *bulk-fill* e que a distribuição de luzes azul e violeta não é uniforme nos fotopolimerizadores *polywave*<sup>132</sup>, faz-se importante avaliar como a configuração espacial de posicionamento dos diodos de luz pode influenciar no desempenho desses materiais. Um estudo conduzido por Issa et al. avaliou a influência da posição de um fotopolimerizador *polywave* de 3 diodos (dois azuis, um violeta) sobre a profundidade de cura e módulo de elasticidade de dois compósitos *bulk-fill*: Tetric EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent), contendo o fotoiniciador Ivocerin®, e Filtek Bulk Fill Flow (3M ESPE), à base de canforoquinona. Utilizando um molde metálico semi-circular, os autores conseguiram aplicar luz sobre os materiais de modo que numa primeira situação, a luz emitida pelo diodo violeta foi bloqueada e os materiais eram fotoativados apenas por luz azul (azul/azul). Na segunda situação, um dos dois diodos azuis era bloqueado e o material era fotoativado por um diodo azul e um diodo violeta (azul/violeta). No caso da resina composta contendo Ivocerin® na condição azul/violeta, apesar de valores semelhantes entre os lados irradiados por luz azul e violeta, a nanodureza e o módulo de elasticidade diminuíram significativamente a partir da profundidade 2,5 mm. Quando a condição azul/azul foi aplicada, mudanças significativas para ambas propriedades só foram observadas a partir do 4 mm. Para a resina composta à base de canforoquinona, uma redução de 50% na nanodureza foi observada a partir de 2,5 mm de profundidade na condição azul/violeta, de forma que a região irradiada por luz violeta foi a mais afetada. Por outro lado, o mesmo material na condição azul/azul apresentou módulo de elasticidade e nanodureza maior e mais uniforme em profundidade quando comparado à condição azul/violeta<sup>98</sup>.

Outra preocupação quanto ao uso dos aparelhos LED é o aumento da temperatura causado durante a emissão de luz azul, especialmente devido à característica exotérmica que as resinas compostas possuem quando polimerizadas. Balestrino et al. determinaram o aumento da temperatura causado pela unidade fotoativadora e pela reação de polimerização de três compósitos com três diferentes unidades fotoativadoras (uma lâmpada halógena de QHT e dois LEDs). O aumento de temperatura entre as unidades de luz variou entre 9,7°C e 20,4°C, e a reação exotérmica de polimerização de 2,7°C a 7,6°C. Dentre as unidades de luz, ambos LEDs geraram maior aumento de temperatura em comparação à lâmpada de QHT<sup>134</sup>. Além disso, o aumento do tempo de fotoativação gera maior calor<sup>140</sup>, podendo levar ao dano irreversível dos tecidos pulpareis<sup>141</sup>. Um trabalho de Gomes et al. avaliando o aumento de temperatura de 16 unidades fotoativadoras mostrou que o aumento da temperatura na ponta do fotopolimerizador variou de 3,8°C a 45°C e na parede pulpar de 2,3°C a 11,3°C<sup>142</sup>.

Nesse sentido, especialmente em situações de grandes profundidades, onde resinas compostas *bulk-fill* são utilizadas, Kim et al. avaliaram o aumento de temperatura em compósitos na face pulpar do assoalho dentinário de restaurações realizadas com a técnica incremental e *bulk-fill*. As temperaturas variaram de 39°C a 60°C na resina composta incremental e de 42°C a 74,9°C na resina composta *bulk-fill*, de forma que a temperatura na câmara pulpar aumentou 3,1°C com a resina composta convencional e 5,5°C com a resina composta *bulk-fill*. Os autores concluem que apesar da praticidade proporcionada pela nova classe de materiais, o uso de compósitos *bulk-fill* em amplas e profundas cavidades pode ser injurioso à polpa<sup>143</sup>.

## 2.7 TRATAMENTO TÉRMICO DE RESINAS COMPOSTAS

Tratamentos adicionais de cura, como o tratamento térmico após fotopolimerização, têm sido propostos com o objetivo de elevar ao máximo a conversão monomérica e, como consequência, as propriedades mecânicas de resinas compostas<sup>25,46,47,112</sup> com finalidade indireta.

Na técnica indireta, a estrutura dentária é reconstruída em um modelo e o material restaurador é polimerizado sob condições controladas, o que permite melhor contato proximal e adaptação<sup>37,144</sup>, além de maior grau de conversão<sup>37,46,47,112,144-146</sup>. A aplicação de calor à restauração inicialmente polimerizada por luz gera energia suficiente para o aumento da mobilidade dos segmentos poliméricos<sup>147</sup> e das espécies reativas<sup>144,147,148</sup>, fazendo com que essas superem obstáculos, como o emaranhamento de cadeias, e reajam entre si<sup>149</sup>, melhorando a qualidade do reticulado polimérico<sup>25</sup>.

Um dos primeiros trabalhos publicados reportando o efeito do tratamento térmico data de 1981, quando Bausch et al. comprovaram que o procedimento adicional de cura a 60°C era capaz de aumentar a dureza e a tração diametral em resinas compostas<sup>41</sup>. Posteriormente, diferentes trabalhos objetivaram determinar o melhor protocolo de tratamento térmico. Em 1992, Ferracane encontrou que a 120°C, tratamentos de 15 minutos e de 3 horas eram igualmente eficazes no aumento de propriedades como grau de conversão, dureza e resistência à flexão<sup>144</sup>. Quanto ao momento ideal para o tratamento térmico, um estudo mostrou que maiores valores de grau de conversão são alcançados quando o tratamento é realizado logo após a fotoativação comparado a espécimes que passaram por pós-cura a temperatura ambiente durante 120 horas antes do tratamento térmico<sup>146</sup>.

Posteriormente, evidências elucidaram que a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) de resinas compostas estava entre 156,67°C e 162,36 °C, e que a partir dos 180°C era possível notar o início da perda de componentes voláteis. O mesmo trabalho concluiu que um tempo de 5 minutos em uma temperatura

acima da T<sub>g</sub> e abaixo da temperatura de início de evaporação de voláteis, portanto 170°C, seria uma temperatura adequada para o tratamento térmico<sup>113</sup>.

De forma complementar, o trabalho de Miyazaki avaliou a influência de dois protocolos fotoativadores, contínuo e pulso tardio, associados a tratamento térmico a duas temperaturas (110°C e 170°C) sobre o grau de conversão, resistência à flexão e dureza de 10 resinas compostas comerciais. A T<sub>g</sub> dos materiais variou entre 157°C e 159,1°C. Independente do protocolo fotoativador, o tratamento a 170°C por 10 minutos aumentou significativamente as propriedades mecânicas em relação a temperatura de 110°C. O fato de o grau de conversão a 110°C ter se apresentado estatisticamente maior que a condição fotoativada, mas continuar inalterado quando elevado a 170°C; associado ao aumento das propriedades mecânicas a 170°C em relação a 110°C reforçou a hipótese de que o tratamento térmico é capaz de causar a relaxação das cadeias poliméricas e melhorar a interação na interface carga/matriz<sup>46,150</sup>.

Os achados relatados reforçam a afirmativa de AlShaafi et al., de que é improvável que resinas compostas sejam capazes de alcançar grau de conversão de 100%<sup>43</sup>. Entretanto, o aumento considerável dessa propriedade proporcionado pelo tratamento térmico após a fotopolimerização levanta a hipótese de uma limitação intencional da reação de polimerização com o intuito de diminuir os efeitos da tensão de polimerização. Um estudo avaliou o comportamento de sete resinas compostas *bulk-fill* de baixa e alta viscosidades e uma resina composta convencional de alta viscosidade nas condições de fotoativação com LED *polywave* sob dose padrão de energia e fotoativação seguida de tratamento térmico a 170°C por 10 minutos. Como resultado, apesar de a maioria das resinas compostas *bulk-fill* terem apresentado grau de conversão superior à resina composta convencional, o grau de conversão após tratamento térmico na nova classe de materiais aumentou significativamente, alcançando valores que variaram entre 83,4 e 94%. Conseqüentemente, propriedades mecânicas como dureza, resistência à flexão e tenacidade à fratura também aumentaram significativamente, não somente pelo aumento da densidade do reticulado polimérico, mas também devido à relaxação de tensões geradas na interface carga/matriz responsáveis

por diminuir o desempenho mecânico através da criação de zonas de tensão que facilitariam a propagação de trincas. Além de validar o uso de resinas compostas *bulk-fill* termicamente tratadas para uso indireto, tais achados evidenciaram que mesmo com novas composições, inclusive a presença dos chamados moduladores reológicos que permitiriam o relaxamento do material no momento da polimerização, uma solução de compromisso parece limitar a reação de polimerização em compósitos *bulk-fill* a fim de preservar a integridade da interface adesiva<sup>25</sup>.

Baseado nos achados que dispõem a literatura e dada a existência de fotopolimerizadores LED com diferentes espectros de emissão de luz, ainda não há evidências científicas que elucidem a influência da unidade fotoativadora no potencial de polimerização de resinas compostas *bulk-fill* após tratamento térmico.



### 3 PROPOSIÇÃO

A proposta do presente estudo foi avaliar o desempenho de três resinas compostas *bulk-fill* e uma resina composta convencional em função do fotopolimerizador e da condição de tratamento (sem e com tratamento térmico) quanto às seguintes propriedades: grau de conversão em profundidade, parâmetro de translucidez, variação de cor, nanodureza em profundidade, módulo de elasticidade em profundidade, resistência à flexão e profundidade de cura por grau de conversão e nanodureza.

As hipóteses nulas testadas foram:

- Primeira hipótese nula: não há diferença estatística nas propriedades testadas de todos os compósitos quando diferentes fotopolimerizadores são utilizados nas condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico;
- Segunda hipótese nula: não há diferença estatística entre as diferentes profundidades para as propriedades grau de conversão, nanodureza e módulo de elasticidade para ambas condições de tratamento;
- Terceira hipótese nula: não há diferença estatística para as propriedades estudadas entre as condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente serão apresentados os materiais selecionados para o presente estudo e suas características. Posteriormente, os testes realizados serão apresentados a fim de descrever as metodologias empregadas.

### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o presente estudo, foram utilizadas três resinas compostas *bulk-fill* e uma convencional. Para a resina composta convencional, Charisma Classic (Heraeus Kulzer – Hanau, Alemanha) a cor OA3 foi selecionada. Para as resinas compostas *bulk-fill* Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) e SonicFill™ 2 (Kerr), a cor A3 foi escolhida. No caso da resina composta Tetric N-Ceram Bulk-Fill (Ivoclar Vivadent), a cor IVA foi selecionada por ser a cor correspondente ao matiz A selecionada para as demais compósitos *bulk-fill*.

As resinas compostas Charisma Classic (Heraeus Kulzer), Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) e Tetric N-Ceram Bulk Fill possuem apresentação comercial na forma de seringa. Para esses materiais a manipulação do material se deu pela remoção da resina composta de dentro da seringa com o auxílio de uma espátula Suprafill número 1 (Duflex – Juiz de Fora, Brasil). No caso da resina composta SonicFill™ 2 (Kerr), cada cápsula foi acoplada à peça de mão do sistema adaptada ao sistema *borden* de um equipo e a extrusão do material foi realizada por vibração na intensidade 3 da peça de mão.

Os materiais utilizados no presente estudo, suas respectivas composições e indicações estão descritos no quadro 4.1.



Quadro 4.1 – Materiais utilizados no presentes estudo

Nome comercial, sigla e fabricante	Cor	Categoria	Estratégia <i>bulk-fill</i> , segundo fabricante	Composição	Conteúdo inorgânico	Espessura máxima de incremento	Necessidade de recobrimento oclusal
Charisma Classic (CC) - Kulzer	OA3	Resina composta convencional microhíbrida	-	Bis-GMA, vidro bário alumínio fluoretado, partículas pré-polymerizadas	61% em peso, 60% em volume	2 mm	Não
Filtek One Bulk Fill (FO) - 3M ESPE	A3	Resina composta <i>bulk-fill</i> de alta viscosidade nanopartícula	Novos monômeros com porções relaxantes	AFM ( <i>dynamic stress-relieving monomer</i> ), AUDMA, UDMA, DDDMA, sílica (20 nm), zircônia (4-11 nm), trifluoreto de itérbio (aglomerados de 100 nm)	76,5 % em peso, 58,5% em volume	5 mm	Não
SonicFill™ 2 (SF) - Kerr	A3	Resina composta <i>bulk-fill</i> de alta viscosidade	Moduladores reológicos; alto conteúdo de carga; inserção sônica	Bis-GMA, TEGDMA, Bis-EMA, Poli (oxi-1,2-etanodiol), 1-fenileno]bis[ $\omega$ -[(2-metil-1-oxo-2-propen-1- il)oxi], Dimetacrilato de 2,2'-etilenodioxietil, SiO <sub>2</sub> , vidro de bário ( <i>nano-scaled particles</i> )	81,3 - 83,5% em peso, 68,5% em volume	5 mm	Não
Tetric N-Ceram Bulk Fill (TEC) - Ivoclar Vivadent	IVA	Resina composta <i>bulk-fill</i> de alta viscosidade híbrida	Fotoiniciador Ivocerin®, partículas de carga pré-polymerizadas	Bis-GMA, UDMA (19-21% em peso), Bis-EMA, partículas pré-polymerizadas, vidro de bário, trifluoreto de itérbio, Ivocerin®	75 - 77% em peso, 53 - 55% em volume	4 mm	Não

Fonte: O autor.



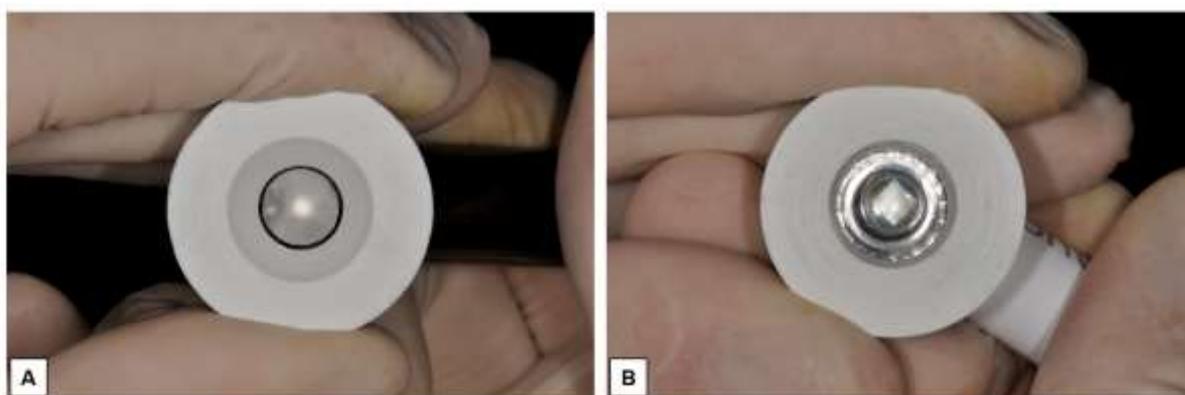
## 4.2 PROTOCOLOS DE CURA

Dois protocolos de cura foram utilizados no presente estudo. No primeiro deles, os materiais foram apenas fotopolimerizados (sem tratamento térmico), no segundo foi realizado tratamento térmico após fotopolimerização (com tratamento térmico).

### 4.2.1 Fotopolimerização

Para a fotopolimerização dos materiais, dois fotopolimerizadores do tipo LED foram utilizados (Quadro 4.2). A fim de padronizar a confecção dos corpos de prova e a dose de energia aplicada, foram confeccionados espaçadores com encaixes adaptados ao diâmetro da ponta dos fotopolimerizadores (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Visão inferior dos espaçadores utilizados na fotoativação dos corpos de prova no presente estudo. Em **A**, espaçador adaptado a ponta do fotopolimerizador Bluephase G2; em **B**, espaçador adaptado à ponta do fotopolimerizador Radium Plus



Fonte: O autor.

Cada aparelho foi posicionado à distância padronizada correspondente à espessura do espaçador (6,0 mm) para avaliação da irradiância com radiômetro *LED radiometer* (SDI) e o cálculo do tempo necessário para a fotoativação dos materiais foi realizado baseado na recomendação dos fabricantes e nos trabalhos de Daugherty et al. (2018) e Jain et al. (2018), sob dose<sup>58,138</sup> de 20 J/cm<sup>2</sup>. A luz A irradiância emitida pelos aparelhos e o tempo de fotoativação para ambos estão dispostas na Tabela 4.2.

Quadro 4.2 – Unidades fotoativadoras utilizadas no presente estudo

Nome comercial, sigla e fabricante	Classificação quanto ao espectro de emissão de luz	Espectro de emissão de luz, segundo fabricante	Irradiância emitida sem espaçador	Irradiância emitida com espaçador	Tempo de fotoativação para dose de 20J/cm <sup>2</sup>
Bluephase G2 (Blue) - Ivoclar Vivadent	Fotopolimerizador LED <i>polywave</i>	395 - 415 nm e 440 - 480 nm	1.625 mW/cm <sup>2</sup>	1.010 mW/cm <sup>2</sup>	20 segundos
Radii Plus (Radii) – SDI	Fotopolimerizador LED convencional	440 - 480 nm	2.100 mW/cm <sup>2</sup>	870 mW/cm <sup>2</sup>	23 segundos

Fonte: O autor.

#### 4.2.2 Tratamento térmico

Passados 10 minutos da fotoativação, os espécimes foram submetidos a tratamento térmico em forno para anéis EDG 3000 (EDG Equipamentos - São Carlos, Brasil) por 10 minutos à temperatura de 170 °C (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Forno para anéis modelo 3000 (EDG Equipamentos)



Fonte: O autor.

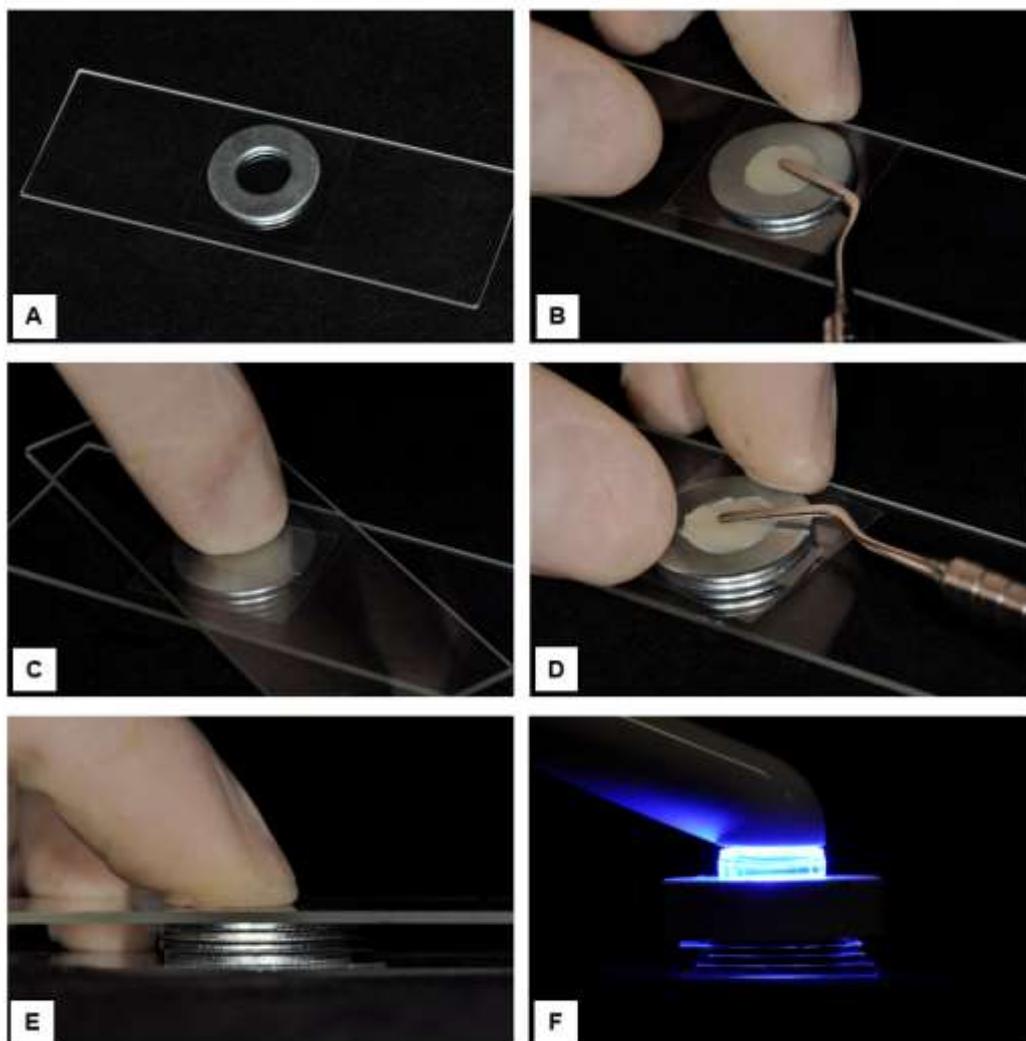
### 4.3 GRAU DE CONVERSÃO (GC)

O grau de conversão ( $n=3$ ) foi obtido através de espectroscopia no infravermelho próximo com transformada de Fourier, FTIR (Vertex 70, Brüker Optik GmbH – Ettlingen, Alemanha). Na técnica de FTIR, uma fonte de luz infravermelha emite luz no comprimento de onda de 633 nm, que atravessa um divisor de feixes, onde o feixe original se divide em dois novos feixes direcionados a um espelho fixo e um espelho móvel, onde refletem novamente em direção ao divisor de feixes e se recombina em um interferômetro, gerando um interferograma. A interação dos feixes gera o chamado padrão de interferência, que é direcionado à amostra. Esta, por sua vez, absorve todos os comprimentos de onda encontrados no seu espectro infravermelho. Ao atravessar a amostra, o padrão de interferência alcança o detector, que por sua vez gera um segundo interferograma. As informações obtidas nos interferogramas são comparadas e o sinal que chega ao computador contém

informações sobre a quantidade de energia absorvida em cada comprimento de onda, que são tratadas pelo software da máquina através da Transformada de Fourier. Durante esse processo, é importante que a amostra utilizada possua espessura suficiente a permitir a leitura do material e a transmissão do padrão de interferência até o detector. A espessura de espécimes utilizados para a leitura do grau de conversão através do mesmo método varia entre 0,8<sup>151,152</sup> e 1,0 mm<sup>25,153,154</sup>. Por este motivo, com o objetivo de avaliar o grau de conversão em profundidade, adotou-se uma técnica de confecção dos espécimes que permitisse simular a aplicação clínica dos materiais e a leitura do grau de conversão baseado em metodologia proposta por Gonçalves et al.<sup>154</sup>.

Quatro arruelas metálicas de 1 mm de espessura e 8 mm de diâmetro cada foram interpostas por fragmentos de tira de poliéster de 10 mm de largura e 0,05 mm de espessura (Airon – Maquira, Maringá, Brasil) a fim de simular uma cavidade de 4 mm de espessura. No espectrômetro, uma primeira leitura chamada de branco era realizada para a calibração do equipamento. Para estabelecer um parâmetro referente ao material não polimerizado, para cada resina composta utilizada, três arruelas eram individualmente adaptadas a um suporte metálico do equipamento, preenchidas com material não polimerizado e levadas ao espectrômetro Vertex 70 sob resolução de 4 cm<sup>-1</sup> (32 varreduras na faixa entre 2000 e 100 cm<sup>-1</sup> e potência de 100 mW).

Figura 4.3 - Sequência de confecção de corpos de prova para teste de grau de conversão. **(A)** primeira arruela metálica posicionada sobre tira de poliéster e lâmina de vidro; **(B)** inserção e condensação de resina composta no orifício da arruela; **(C)** após preenchimento da arruela, pressão manual para nivelamento do material na primeira arruela (referente ao quarto milímetro); **(D)** preenchimento de nova arruela (referente ao terceiro milímetro); **(E)** após repetição do procedimento para as arruelas referentes ao segundo e primeiro milímetros, pressão manual com lâmina de vidro para microscopia sobre tira de poliéster sobre o conjunto para acomodação do material no primeiro milímetro; **(F)** após remoção da lâmina de vidro para microscopia, fotoativação do conjunto



Fonte: O autor.

Para a obtenção do espectro referente ao material polimerizado, os espécimes eram confeccionados da seguinte maneira. Uma primeira arruela era posicionada sobre tira de poliéster fixada sobre placa de vidro e preenchida com resina composta (Figura 4.3 A), nivelada com o auxílio de uma espátula Suprafill número 1 (Duflex) à espessura da arruela (Figura 4.3 B). Uma nova tira de poliéster era aplicada sobre a arruela e o material era pressionado de forma manual com lâmina de vidro para microscopia (Bioslide – Jacareí, Brasil) (Figura 4.3 C). Uma nova arruela era posicionada e o processo se repetia por mais três vezes até que a quarta arruela fosse empilhada (Figura 4.3 D,E) e o material fosse fotopolimerizado (Figura 4.3 F), conforme descrito no tópico 4.2.1.

Após fotopolimerização, a desmontagem do conjunto dava origem a 4 discos de 8 mm de diâmetro e 1 mm de espessura ( $\pm 0,1$  mm) inclusos nas arruelas. Espécimes com espessura superior à tolerância levavam ao descarte do conjunto e um novo conjunto era confeccionado. Durante a desmontagem do conjunto, cada arruela recebia uma numeração referente à porção em profundidade (1, 2, 3, 4).

Desmontado o conjunto, de forma individual, as arruelas eram adaptadas ao suporte metálico e levadas ao espectrômetro, onde a leitura do espectro referente ao material polimerizado era realizada sob os mesmos parâmetros mencionados anteriormente. A correção da linha base e a normalização da curva foram feitas através do programa OPUS (Brüker Optics – Ettlingen, Alemanha), aumentando sua intensidade e facilitando sua visualização. As alturas dos picos de absorção das bandas de 1610 e 1640  $\text{cm}^{-1}$ , correspondentes às faixas =C-H dos grupos metacrilato eram mensuradas e registradas. O grau de conversão era calculado segundo a seguinte equação (Equação 1):

$$GC_{\text{polimerizado}} = 100 \times 1 - \left[ \frac{\left( \frac{\text{alifático}}{\text{aromático}} \right)_{\text{fotopolimerizado}}}{\left( \frac{\text{alifático}}{\text{aromático}} \right)_{\text{não polimerizado}}} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

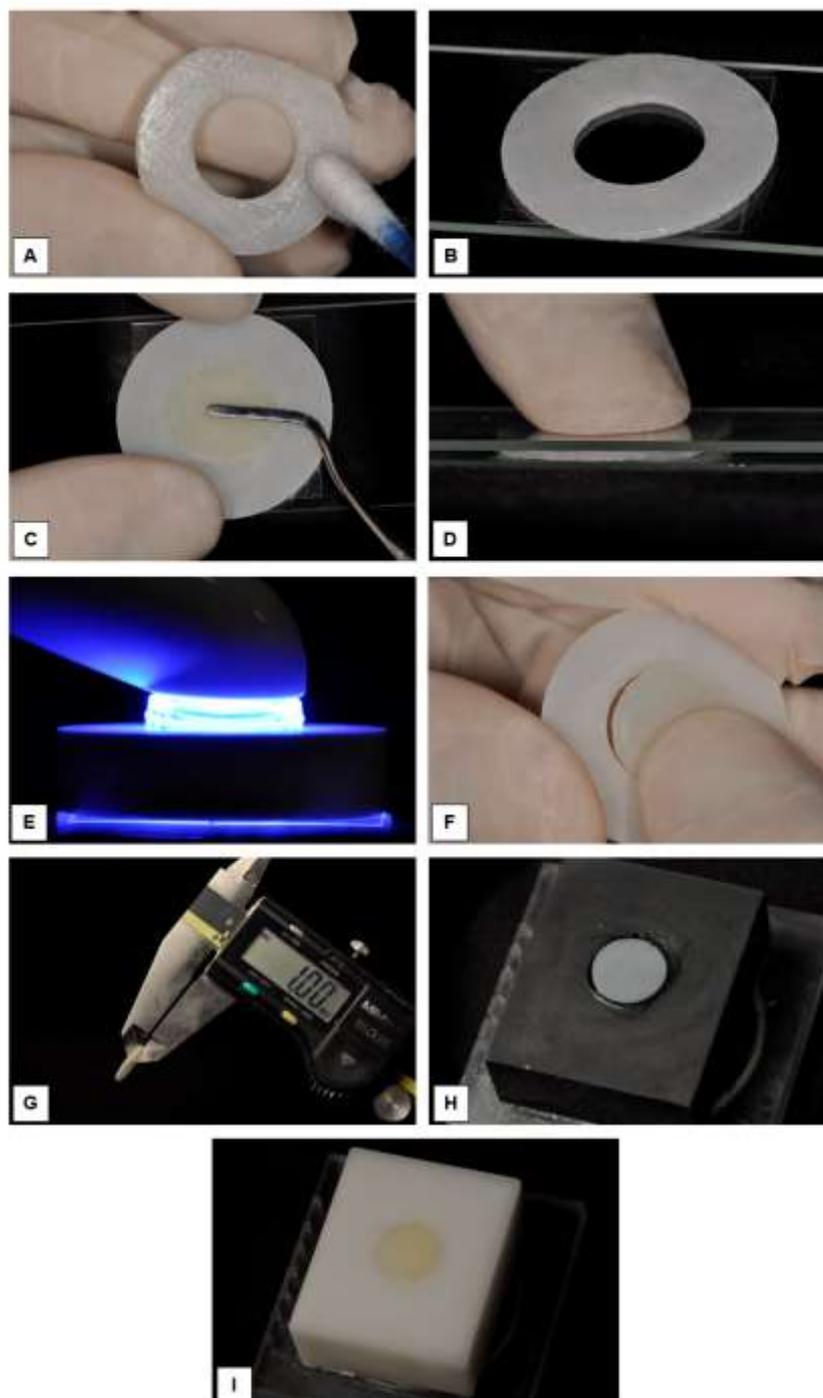
Após a leitura do último segmento de cada conjunto, os espécimes eram empilhados e estabilizados com o auxílio de dois grampos de escritório. Passados 10 minutos da fotopolimerização, o conjunto era submetido ao tratamento térmico, conforme descrito no tópico 4.2.2. Após tratamento térmico, o conjunto era desmontado e após 10 minutos da remoção do forno, sob completo resfriamento dos espécimes, as arruelas eram novamente posicionadas no suporte metálico do espectrômetro e uma nova leitura referente às alturas dos picos de absorção das bandas de 1610 e 1640  $\text{cm}^{-1}$  era realizada. O grau de conversão após o tratamento térmico foi obtido através da equação a seguir (Equação 2):

$$GC_{\text{tratado}} = 100 \times 1 - \left[ \frac{(\text{alifático/aromático})_{\text{tratado}}}{(\text{alifático/aromático})_{\text{não polimerizado}}} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

#### 4.4 PROPRIEDADES ÓPTICAS

Para a obtenção dos parâmetros de cor, foram confeccionadas amostras ( $n=10$ ) em forma de disco de 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura com o auxílio de uma matriz de poliacetato. Devido ao tamanho dos espécimes, era inviável o uso de tiras de poliéster convencionais para confecção dos corpos de prova. Por isso, folhas de transparência manual (USA-Folien – São Paulo, Brasil) foram utilizadas. Em cada folha, a película áspera foi removida a fim de obter-se uma superfície transparente e sem rugosidades, simulando uma tira de poliéster.

Figura 4.4 - Sequência de confecção de corpos de prova leitura de parâmetros de cor. **(A)** aplicação de gel lubrificante em ambos os lados da matriz de poliacetato; **(B)** matriz sobre fragmento de folha de transparência; **(C)** preenchimento da cavidade da matriz com resina composta; **(D)** pressão manual sobre resina composta com lâmina de vidro sobre fragmento de folha de transparência; **(E)** após remoção da lâmina de vidro, fotoativação do espécime; **(F)** remoção do espécime do interior da matriz; **(G)** aferição de espessura do espécime com paquímetro digital; **(H)** posicionamento do espécime em fundo preto com acoplante glicerina; **(I)** posicionamento do espécime em fundo branco com acoplante glicerina



Para cada espécime, um fragmento de 20 x 20 mm de transparência era posicionado sobre placa de vidro. Para facilitar o contato e estabilizar a matriz, uma pequena quantidade de gel lubrificante íntimo à base de glicerina (KY – São Paulo, Brasil) era aplicada com o auxílio de um haste flexível com ponta de algodão (Johnson & Johnson – São José dos Campos, Brasil) em ambos lados da matriz (Figura 4.4 A). A matriz era posicionada sobre o fragmento de transparência (Figura 4.4 B) e a resina composta era aplicada na cavidade da matriz com o auxílio de espátula Suprafill número 1 (Duflex) até atingir a espessura do molde (Figura 4.4 C). Um novo fragmento de transparência era posicionado sobre a matriz e sob pressão manual com lâmina de vidro para microscopia (Bioslide), o material era acomodado à cavidade da matriz (Figura 4.4 D). A lâmina de vidro era removida e os espécimes eram fotoativados conforme tópico 4.2.1 (Figura 4.4 E).

Após fotoativação, os espécimes eram removidos da matriz (Figura 4.4 F) e uma marcação discreta na borda diretamente irradiada por luz era realizada com pincel permanente. As bordas em excesso eram removidas com o uso de lixa de granulação 600 (NORTON – Guarulhos, Brasil), proporcionando acabamento dos corpos de prova. A espessura de cada corpo de prova era medida com o auxílio de paquímetro digital (Mitutoyo – Suzano, Brasil) de forma que todos os espécimes apresentassem espessura de 1 mm ( $\pm 0,05$  mm) (Figura 4.4 G). Espécimes que apresentavam espessura menor ou maior que a tolerância eram descartados.

As amostras foram analisadas em espectrofotômetro CM-3700 (Konica Minolta – Tóquio, Japão) na faixa de comprimento de onda da luz visível (360 – 740 nm) (Figura 4.4 H, I). Para todos os materiais, leituras de refletância sobre fundo branco e fundo preto com glicerina como agente acoplante foram realizadas a fim de que as análises a serem descritas a seguir pudessem ser realizadas.

#### 4.4.1 Parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ )

O parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ) dos materiais e condições estudados na escala CIEDE2000 foram determinados a partir da fórmula<sup>155</sup>:

$$PT_{00} = \left[ \left( \frac{L'_B - L'_W}{K_L S_L} \right)^2 + \left( \frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C} \right)^2 + \left( \frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left( \frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C} \right) \left( \frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2}$$

Onde  $B$  e  $W$  subscritos referem-se à luminosidade ( $L'$ ), croma ( $C'$ ) e matiz ( $H'$ ) dos espécimes em fundo preto e branco, respectivamente.  $R_T$ ,  $S_L$ ,  $S_C$ ,  $S_H$ ,  $K_L$ ,  $K_C$  e  $K_H$  são os mesmos parâmetros utilizados no cálculo da diferença de cor ( $\Delta E_{00}$ ).

#### 4.4.2 Diferença de cor ( $\Delta E_{00}$ )

Para todos os materiais e ambos fotopolimerizadores, a diferença de cor entre as condições após tratamento térmico (com tratamento térmico) e após fotoativação (sem tratamento térmico) foi calculada a partir dos resultados obtidos de refletância em fundo preto segundo a fórmula CIEDE2000 de diferença de cor<sup>156,157</sup>:

$$\Delta E_{00} = \left[ \left( \frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left( \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left( \frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2}$$

Onde:

$\Delta L'$ ,  $\Delta C'$  e  $\Delta H'$ : diferenças de luminosidade ( $L'$ ), croma ( $C'$ ) e matiz ( $H'$ ), respectivamente, entre as condições com e sem tratamento térmico para um par de amostras;

$R_T$ : função rotação, que leva em consideração a interação entre as diferenças de croma e matiz na região do azul;

$S_L$ ,  $S_C$  e  $S_H$ : funções de ponderação que ajustam a diferença total de cor para variação na localização das coordenadas  $L'$ ,  $a'$ ,  $b'$ ;

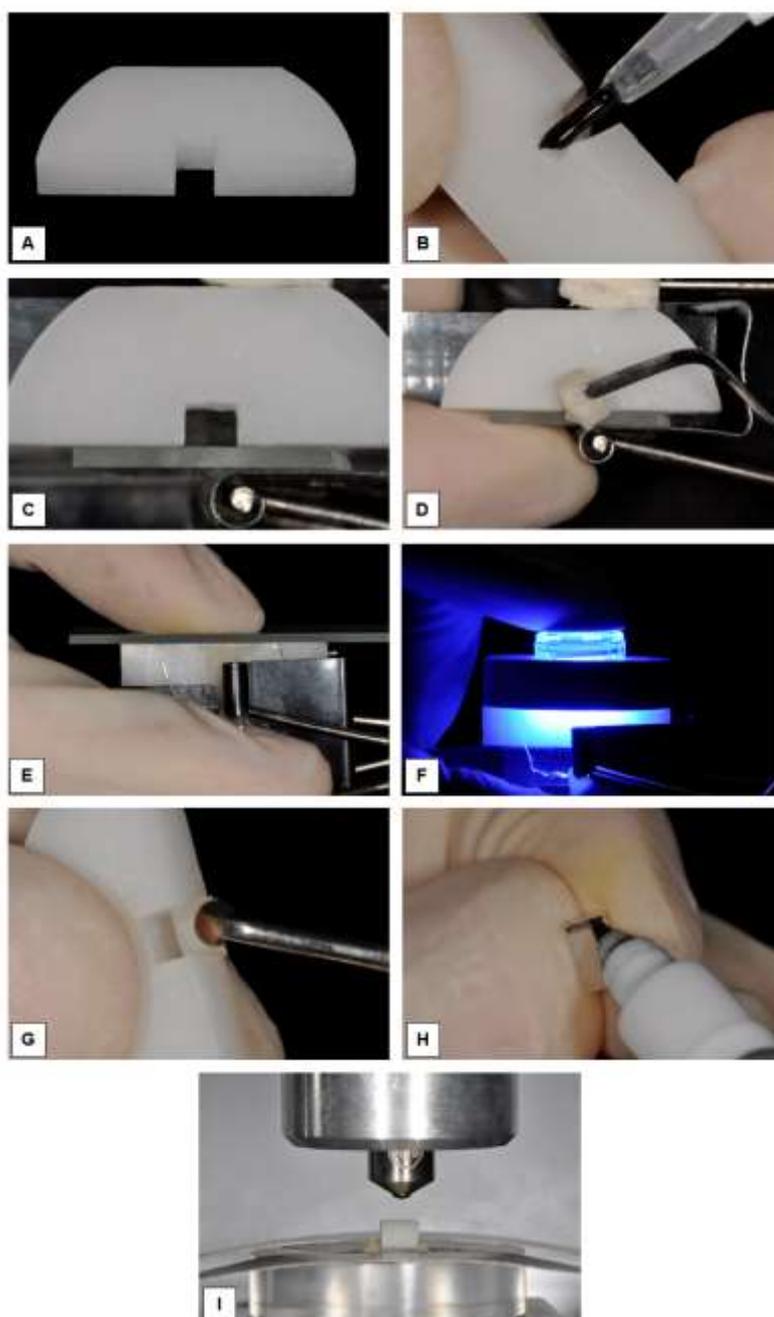
$K_L$ ,  $K_C$ ,  $K_H$ : termos de correção para condições experimentais. Baseado no estudo de Ghinea et al. (2010), os valores de  $K_L$ ,  $K_C$  e  $K_H$  da fórmula de diferença de cor CIEDE2000 foram definidos como 1<sup>156</sup>.

#### 4.5 NANODUREZA (ND) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME)

Para os ensaio de nanodureza e módulo de elasticidade ( $n=3$ ), espécimes de 4 mm de altura x 2,5 mm de largura e 2,5 mm de profundidade foram confeccionados com o auxílio de uma matriz de poliacetato. A matriz apresentava formato de U de ângulos vivos (Figura 4.5 A). Inicialmente, com o auxílio de um pincel para adesivo (Coltene – Altstätten, Suíça), uma fina camada de gel lubrificante íntimo à base de glicerina (KY) era aplicado nas superfícies internas da matriz a fim de facilitar a posterior remoção dos espécimes (Figura 4.5 B).

Um fragmento de tira de poliéster (Maquira) de 10 mm de largura e 15 mm de comprimento era posicionado sobre um fragmento de lâmina de vidro para microscopia (Bioslide) e o conjunto era pressionado contra a superfície livre da matriz, sendo estabilizados com o auxílio de um prendedor de papel tipo *binder clip* (BRW Suplementos – Araucária, Brasil) (Figura 4.5 C). A base do espécime era posicionada sobre lâmina de vidro e tira de poliéster, e a cavidade criada era preenchida com resina composta em incremento único com o auxílio de uma espátula Suprafill número 1 (Duflex) (Figura 4.5 D). A superfície do topo era nivelada com a tira de poliéster sob pressão manual (Figura 4.5 E) e o material era fotoativado a partir do topo, conforme tópico 4.2.1 (Figura 4.5 F).

Figura 4.5 - Sequência de confecção de corpos de prova para nanoindentação, de onde se obtiveram os resultados para nanodureza e módulo de elasticidade. **(A)** matriz de poliacetato em forma de “U” com ângulos vivos; **(B)** aplicação de fina camada de gel lubrificante nas paredes internas da matriz; **(C)** montagem da matriz – a face livre vertical da matriz é selada com tira de poliéster e fragmento de lâmina de vidro, pressionadas com prendedor de papel tipo *binder clip*; **(D)** inserção da resina composta na cavidade da matriz em incremento único; **(E)** após preenchimento da cavidade, pressão manual com tira de poliéster e lâmina de vidro para uniformização da superfície superior de material; **(F)** remoção da lâmina de vidro e fotoativação do corpo de prova; **(G)** remoção do corpo de prova da matriz com o auxílio de Lecron (Duflex); **(H)** marcação com pincel permanente da superfície superior na face oposta à tira de poliéster; **(I)** posicionamento de espécime na máquina de teste dinâmico de nanodureza DUH-W211S (Shimadzu)



Fonte: O autor.

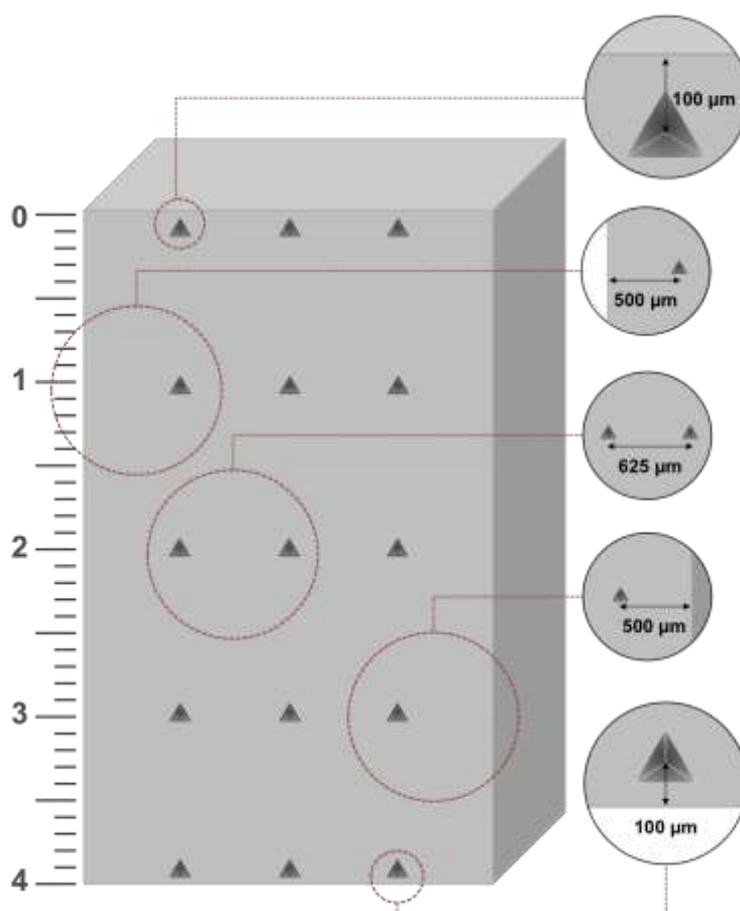
Após fotoativação, os espécimes eram removidos da matriz com o auxílio de um esculpador Lecron (Duflex) e uma marcação no bordo superior (Figura 4.5 G) (topo) oposto à superfície gerada a partir do contato com o conjunto tira de poliéster e lâmina de microscopia era realizada com pincel permanente (Figura 4.5 H). Apesar do uso da lâmina de vidro com tira de poliéster viabilizar uma maior lisura de superfície na superfície lateral do espécime, onde as nanoendentações viriam a ser realizadas, a contração de polimerização gerava uma superfície que, apesar de lisa, apresentava-se côncava e inviabilizava a leitura. Por este motivo, os espécimes foram submetidos a polimento em polidora Automet™ 2000 (Buehler – Lake Bluff, Estados Unidos) sob irrigação abundante com lixa de granulação 2.400 durante 60 segundos (força de 20 N; velocidade do prato: 100 rpm).

Após o polimento, cada espécime foi examinado quanto à nanodureza e módulo de elasticidade através de nanoendentação segundo a profundidade em máquina de teste dinâmico de nanodureza DUH-W211S (Shimadzu Co. – Tóquio, Japão) (Figura 4.5 I). Um total de 15 nanoendentações era realizado por espécime, de forma que as três primeiras leituras, consideradas como “topo” eram realizadas a uma distância de 100  $\mu\text{m}$  a partir do bordo superior do espécime – horizontalmente, a primeira delas era realizada a 500  $\mu\text{m}$  a partir da margem esquerda do espécime; a segunda a 625  $\mu\text{m}$  distante da primeira endentação, a 1.125  $\mu\text{m}$  da margem esquerda; a terceira a 625  $\mu\text{m}$  a partir da segunda, 500  $\mu\text{m}$  a partir da margem direita do espécime. O procedimento se repetiu a cada 1.000  $\mu\text{m}$  em direção à base do espécime, configurando as leituras “1 mm”, “2 mm” e “3 mm”. As leituras da base, “4 mm”, foram realizadas a 100  $\mu\text{m}$  do bordo da base de cada espécime (Figura 4.6). As distâncias estabelecidas permitiram a padronização das leituras. A carga máxima utilizada foi de 100 mN<sup>94</sup> e o tempo de carregamento foi de 10 segundos.

Cada nanoendentação gerava valores de nanodureza e módulo de elasticidade. No segundo caso, o valor era gerado em MPa ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) e era convertido em GPa. Ambas propriedades referentes a cada profundidade eram calculadas a partir da média das três endentações na mesma profundidade.

A carga máxima aplicada pelo endentador foi de 100 mN e cada ciclo de endentação consistiu em quatro fases: carregamento a 100 mN, *holding* por 10 segundos à taxa de carregamento (100 mN) seguido de descarregamento segundo *holding* a uma carga mínima de 1 mN por 3 segundos.

Figura 4.6 - Esquema de endentações realizadas nos corpos de prova para obtenção da nanodureza e módulo de elasticidade



Fonte: O autor.

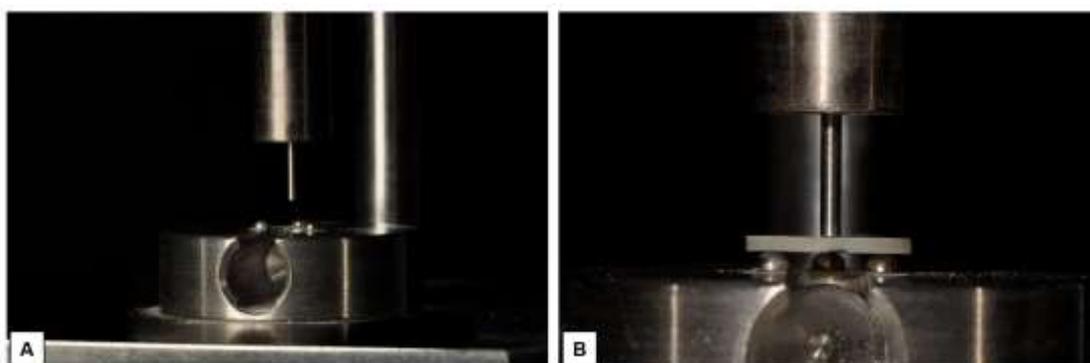
Dez minutos após as nanoendentações serem realizadas na condição sem tratamento térmico, os espécimes eram submetidos a tratamento térmico, conforme tópico 4.2.2 e as leituras eram realizadas novamente.

#### 4.6 RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAxIAL (RFB)

Para a obtenção da resistência à flexão biaxial ( $n=10$ ) dos materiais estudados, foram utilizados corpos de prova em forma de disco (12 mm de diâmetro x 1 mm de espessura) – os mesmos utilizados nas análises das propriedades ópticas (tópico 4.4).

O teste de resistência à flexão biaxial foi realizado em dispositivo do tipo “pistão sobre três bolas”, cuja base apresenta três esferas de aço de 2,5 mm de diâmetro dispostas em um círculo de 10 mm de diâmetro a  $120^\circ$  uma da outra. O dispositivo foi acoplado a máquina de ensaios universal (modelo 5565, Instron Corp - Canton, Estados Unidos) (Figura 4.7 A).

Figura 4.7 - Dispositivo “pistão sobre três bolas” acoplado a máquina de ensaios universal. **(A)** visão da base de três bolas e do pistão de carregamento; **(B)** espécime posicionado para execução do teste de resistência à flexão biaxial



Fonte: O autor.

Cada corpo de prova era posicionado centralizado sobre as esferas com a face irradiada por luz voltada para o pistão de carregamento (Figura 4.7 B). A carga era aplicada no centro do disco com pistão de ponta plana de 1,2 mm de diâmetro sob taxa de carregamento de 0,5 mm/min. A carga de fratura em Newton (N) era registrada e o cálculo da resistência à flexão biaxial, em MPa, era calculado segundo a equação<sup>153,158</sup>:

$$\text{RFB} = \frac{-0.2387P(X-Y)}{b^2}$$

$$X = (1 - \nu) \ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2 + \left[ \left( \frac{1 - \nu}{2} \right) \right] \frac{r_2^2}{r_3}$$

$$Y = (1 - \nu) \left[ 1 - \ln \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] + (1 - \nu) \left( \frac{r_1}{r_3} \right)^2$$

Onde:

P: carga máxima de fratura (em N);

b: espessura do disco (em mm) – determinado como o auxílio de paquímetro digital (Mitutoyo) antes do teste;

$\nu$ : coeficiente de Poisson – neste caso, foi adotado  $\nu=0.30$  para todos os materiais<sup>153,158</sup>;

$r_1$ : raio do círculo em que estão posicionadas as esferas de aço (5 mm);

$r_2$ : raio da ponta do pistão aplicador de carga (0,6 mm);

$r_3$ : raio do espécime (6 mm)

#### 4.7 PROFUNDIDADE DE CURA (PC)

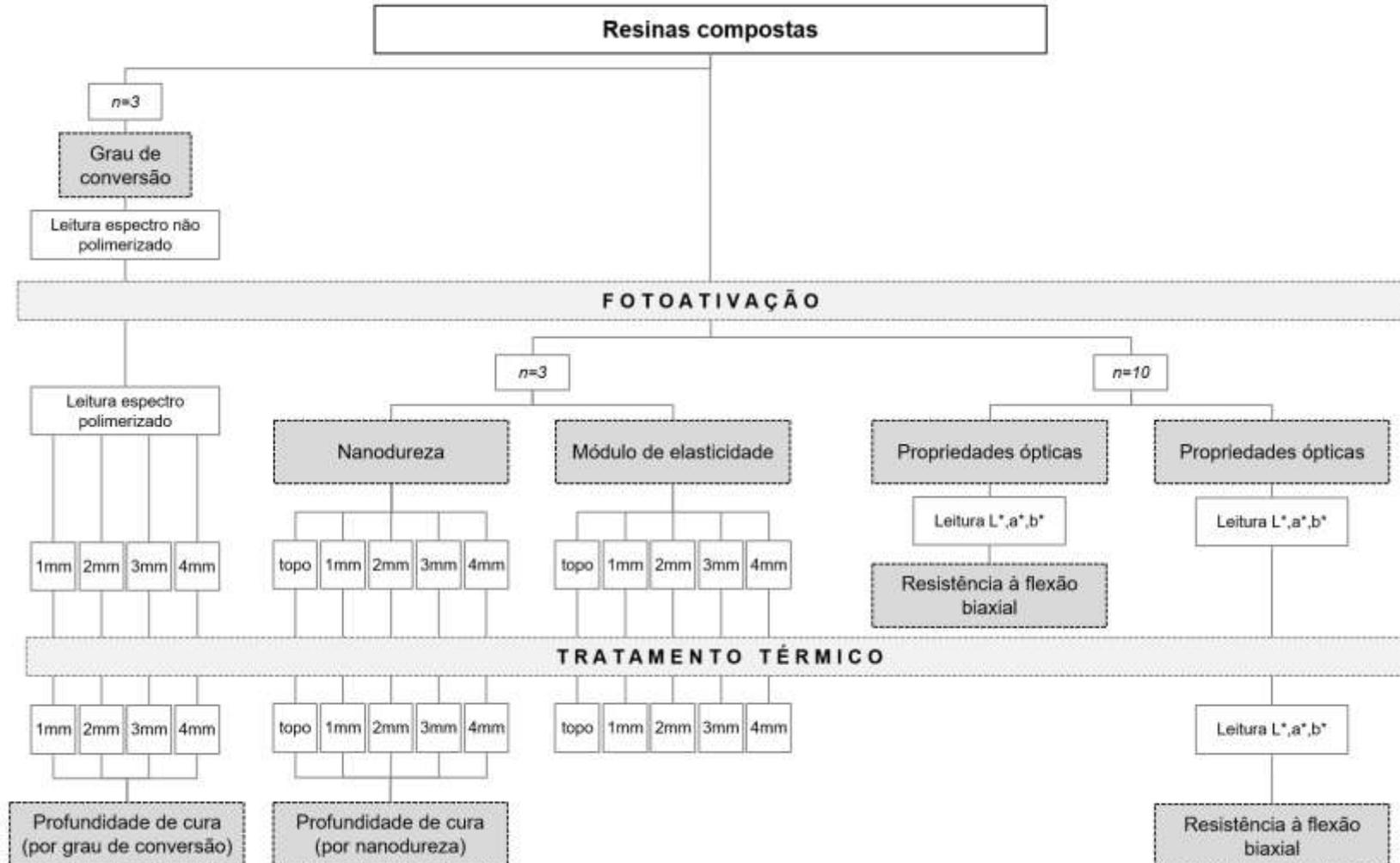
A profundidade de cura foi medida a partir do grau de conversão ( $PC_{GC}$ ) e da nanodureza ( $PC_{ND}$ ). Para a profundidade de cura por grau de conversão, foram realizados os cálculos da razão dos valores obtidos nas profundidades 4 mm, 3 mm e 2 mm sobre o 1 mm. Para a profundidade de cura por nanodureza, foram realizados os cálculos da razão dos valores obtidos nas profundidades 4 mm, 3 mm, 2 mm e 1 mm sobre o valor obtido para o topo, segundo as equações abaixo:

Profundidade de cura	Grau de conversão (GC)	Nanodureza (ND)
1 mm	-	$PC_{ND\ 1mm} = \frac{ND_{1mm}}{ND_{topo}}$
2 mm	$PC_{GC\ 2mm} = \frac{GC_{2mm}}{GC_{1mm}}$	$PC_{ND\ 2mm} = \frac{ND_{2mm}}{ND_{topo}}$
3 mm	$PC_{GC\ 2mm} = \frac{GC_{3mm}}{GC_{1mm}}$	$PC_{ND\ 3mm} = \frac{ND_{3mm}}{ND_{topo}}$
4 mm	$PC_{GC\ 2mm} = \frac{GC_{4mm}}{GC_{1mm}}$	$PC_{ND\ 4mm} = \frac{ND_{4mm}}{ND_{topo}}$

Fonte: O autor.

Em suma, o fluxograma dos testes realizados no presente estudo está disposto na figura 4.8.

Figura 4.8 – Fluxograma dos testes realizados no presente estudo



Fonte: O autor.



#### 4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos resultados, foi utilizado o *software* STATA/SE 13.0 (StataCorp – College Station, Estados Unidos).

Os desfechos considerados foram: grau de conversão (GC), parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ), diferença de cor ( $\Delta E_{00}$ ), parâmetro  $L^*$  ( $L^*$ ), parâmetro  $a^*$  ( $a^*$ ), parâmetro  $b^*$  ( $b^*$ ), nanodureza (ND), módulo de elasticidade (ME) e resistência à flexão biaxial (RFB). Dados de profundidade de cura por grau de conversão ( $PC_{GC}$ ) e profundidade de cura por nanodureza ( $PC_{ND}$ ) não foram incluídos na análise estatística, pois serão discutidos por análise descritiva.

As variáveis consideradas foram: *material*, *profundidade*, *fotopolimerizador* e *tratamento térmico* para os desfechos grau de conversão, nanodureza e módulo de elasticidade; *material*, *fotopolimerizador* e *condição de tratamento* para os desfechos parâmetro  $L^*$ , parâmetro  $a^*$ , parâmetro  $b^*$ , parâmetro de translucidez e resistência à flexão biaxial; e, *material* e *fotopolimerizador* para diferença de cor ( $\Delta E_{00}$ ).

As variáveis quantitativas independentes para desfechos como grau de conversão, nanodureza e módulo de elasticidade foram primeiramente testadas quanto à sua distribuição pelo teste de Kolmogorov Smirnov, com índice de significância de 5%. Todas as variáveis apresentaram distribuições paramétricas ( $p < 0,05$ ).

Para a avaliação de correlação entre os desfechos grau de conversão, nanodureza e módulo de elasticidade, foi aplicado o teste de correlação de Pearson com índice de significância de 5%.

Para a avaliação de variáveis pareadas (*condição de tratamento*) dentro da variável *fotopolimerizador* e *material* (dados independentes), foi utilizado Teste T. A análise ANOVA um fator foi aplicada para a comparação de mais de dois grupos não pareados.

Para a avaliação de diversas variáveis, como *material*, *fotopolimerizador*, *condição de tratamento* e *profundidade*, análises de regressão de Poisson univariada e ajustada foram realizadas. As variáveis que atingiram  $p < 0,20$  na análise univariada foram levadas para a análise ajustada.

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos no presente estudo serão apresentados de acordo com as propriedades estudadas.

### 5.1 GRAU DE CONVERSÃO

Para a análise do grau de conversão de cada um dos materiais, foram consideradas as variáveis *material*, *fotopolimerizador* (Bluephase G2 e Ratii Plus), *condição de tratamento* (sem tratamento térmico, com tratamento térmico) e *profundidade* (1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm).

#### 5.1.1 Sem tratamento térmico

Os resultados de grau de conversão para os materiais testados na condição sem tratamento térmico nas diferentes profundidades para os fotopolimerizadores Bluephase G2 e Ratii Plus estão dispostos na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em mesmo fotopolimerizador para um mesmo material

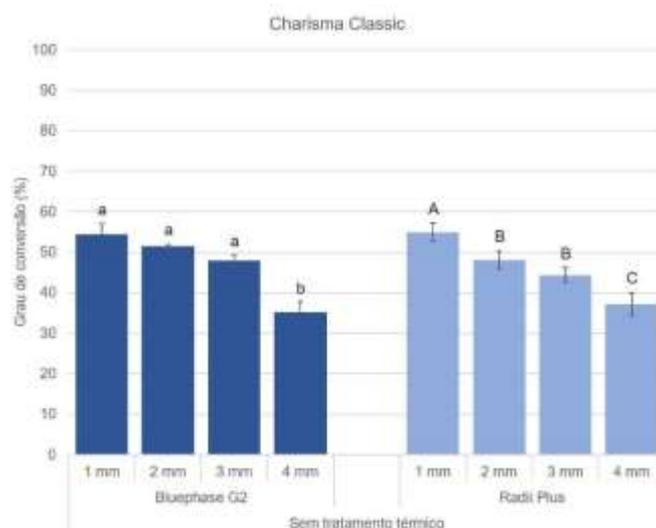
Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus
1	54,42 (2,66) <sup>A,a</sup>	54,97 (2,25) <sup>A,a</sup>	58,66 (1,20) <sup>A,a</sup>	57,10 (1,95) <sup>A,a</sup>	58,85 (1,77) <sup>A,ab</sup>	57,26 (2,63) <sup>A,a</sup>	72,09 (1,26) <sup>A,a</sup>	69,96 (2,00) <sup>A,a</sup>
2	51,48 (0,55) <sup>A,a</sup>	48,12 (2,28) <sup>A,b</sup>	54,59 (1,19) <sup>A,ab</sup>	54,11 (2,59) <sup>A,ab</sup>	62,92 (1,69) <sup>A,a</sup>	55,39 (1,63) <sup>B,a</sup>	71,42 (1,06) <sup>A,a</sup>	67,92 (1,55) <sup>A,ab</sup>
3	47,92 (1,34) <sup>A,a</sup>	44,36 (1,80) <sup>A,b</sup>	52,32 (2,57) <sup>A,b</sup>	50,62 (1,61) <sup>A,b</sup>	57,47 (1,57) <sup>A,ab</sup>	57,50 (2,29) <sup>A,a</sup>	68,16 (2,32) <sup>A,a</sup>	65,21 (1,12) <sup>A,b</sup>
4	35,21 (2,61) <sup>A,b</sup>	37,16 (2,89) <sup>A,c</sup>	49,82 (1,25) <sup>A,b</sup>	52,03 (1,54) <sup>A,ab</sup>	56,04 (2,30) <sup>A,b</sup>	54,87 (2,30) <sup>A,a</sup>	62,62 (0,42) <sup>A,b</sup>	56,67 (0,40) <sup>B,c</sup>

Fonte: O autor.

Para todos os materiais, houve uma redução estatisticamente significativa do grau de conversão em profundidade na condição sem tratamento térmico ( $p < 0,05$ ), com exceção para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill, independente do fotopolimerizador, que manteve seu grau de conversão constante até 4 mm de profundidade.

A resina composta convencional Charisma Classic apresentou redução significativa ( $p < 0,05$ ) de 35,3% no grau de conversão do 1 mm (54,42%) ao 4 mm (35,21%) quando fotopolimerizada com Bluephase G2. Quando fotopolimerizada com Radii Plus, uma redução estatisticamente significativa de 32,4% ( $p \geq 0,05$ ) foi observada do 1 mm (54,97%) ao 4 mm (37,16%). Para cada profundidade, não houve diferença estatística quando os dois fotopolimerizadores foram comparados ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.1).

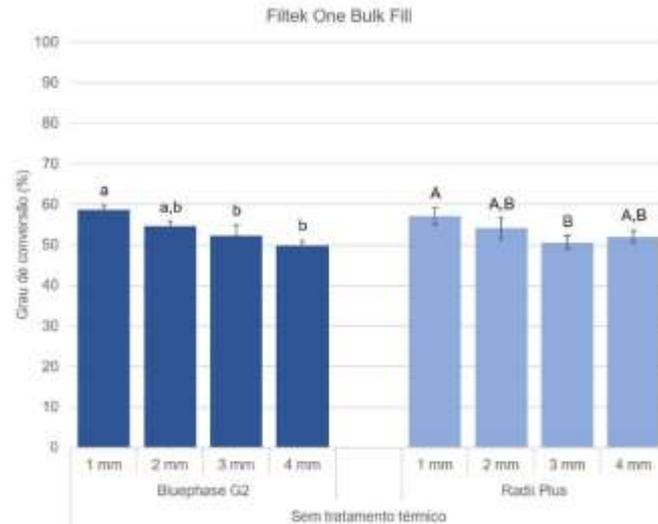
Figura 5.1 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta Filtek One Bulk Fill apresentou redução significativa ( $p < 0,05$ ) de 15,07% no grau de conversão do 1 mm (58,66%) ao 4 mm (49,82%) quando fotopolimerizada com Bluephase G2. Quando fotopolimerizada com Radii Plus, uma redução estatisticamente não significativa de 8,87% ( $p \geq 0,05$ ) foi observada do 1 mm (57,10%) ao 4 mm (52,03%), contudo o 3 mm (50,62%) apresentou grau de conversão menor que o 1 mm ( $p < 0,05$ ). Para cada profundidade, não houve diferença estatística quando os dois fotopolimerizadores foram comparados ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.2).

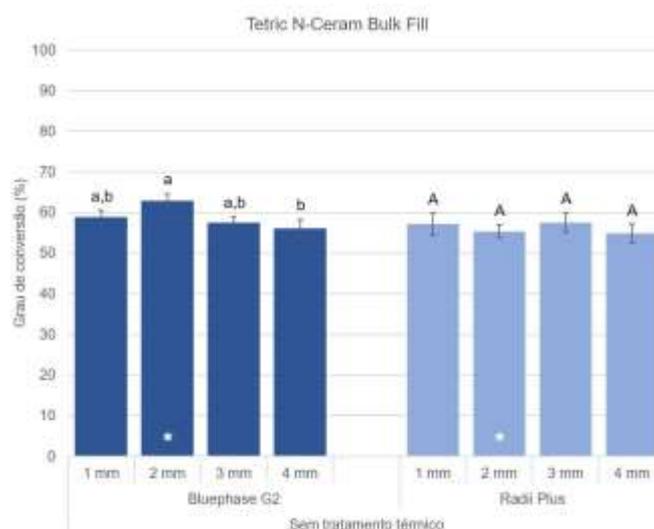
Figura 5.2 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill apresentou a menor redução no grau de conversão do 1 mm ao 4 mm dentre todos os materiais testados, de 4,77% para o fotopolimerizador Bluephase G2 e 4,16% para o Radii Plus, ambas estatisticamente não significantes ( $p \geq 0,05$ ). Para o fotopolimerizador Bluephase G2, o 2 mm (62,92%) apresentou grau de conversão maior que a mesma profundidade para o Radii Plus (55,39%) ( $p < 0,05$ ). Para as demais profundidades, não houve diferença estatística quando os dois fotopolimerizadores foram comparados ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.3).

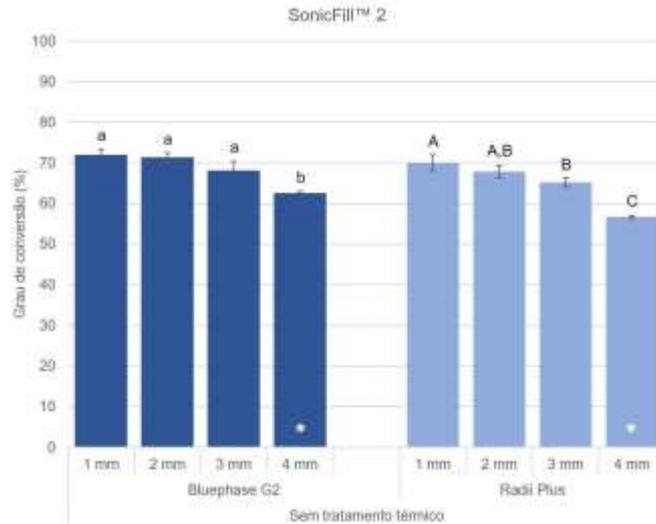
Figura 5.3 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta SonicFill™ 2 apresentou redução de 13,13% para o fotopolimerizador Bluephase G2 e 18,99% para o Radii Plus em profundidade, ambas estatisticamente significantes ( $p < 0,05$ ). Para as profundidades 1 mm, 2 mm e 3 mm, não houve diferença estatística quando os dois fotopolimerizadores foram comparados ( $p \geq 0,05$ ). O 4 mm fotopolimerizado com Bluephase G2 apresentou maior grau de conversão em comparação ao Radii Plus ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.4).

Figura 5.4 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

### 5.1.2 Com tratamento térmico

Os resultados de grau de conversão para os materiais testados na condição com tratamento térmico nas diferentes profundidades para os fotopolimerizadores Bluephase G2 e Radii Plus estão dispostos nas tabelas 5.2 e 5.3, respectivamente.

Tabela 5.2 – Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em uma mesma condição de tratamento para um mesmo material

Bluephase G2								
Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
1	54,42 (2,66) <sup>B,a</sup>	80,52 (2,10) <sup>A,a</sup>	58,66 (1,20) <sup>B,a</sup>	82,71 (0,93) <sup>A,a</sup>	58,85 (1,77) <sup>B,ab</sup>	84,25 (1,87) <sup>A,a</sup>	72,09 (1,26) <sup>B,a</sup>	84,63 (0,93) <sup>A,a</sup>
2	51,48 (0,55) <sup>B,a</sup>	78,89 (0,54) <sup>A,a</sup>	54,59 (1,19) <sup>B,ab</sup>	82,39 (1,98) <sup>A,a</sup>	62,92 (1,69) <sup>B,a</sup>	85,40 (2,22) <sup>A,a</sup>	71,42 (1,06) <sup>B,a</sup>	84,55 (0,91) <sup>A,a</sup>
3	47,92 (1,34) <sup>B,a</sup>	74,70 (1,61) <sup>A,a</sup>	52,32 (2,57) <sup>B,b</sup>	80,15 (0,95) <sup>A,a</sup>	57,47 (1,57) <sup>B,ab</sup>	83,05 (1,40) <sup>A,a</sup>	68,16 (2,32) <sup>B,a</sup>	80,97 (1,73) <sup>A,a</sup>
4	35,21 (2,61) <sup>B,b</sup>	64,43 (3,50) <sup>A,b</sup>	49,82 (1,25) <sup>B,b</sup>	78,80 (0,40) <sup>A,a</sup>	56,04 (2,30) <sup>B,b</sup>	81,95 (0,52) <sup>A,a</sup>	62,62 (0,42) <sup>B,b</sup>	74,17 (0,65) <sup>A,b</sup>

Fonte: O autor.

Tabela 5.3 – Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radii Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades em uma mesma condição de tratamento para um mesmo material

Radii Plus								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
1	54,97 (2,25) <sup>B,a</sup>	79,80 (1,80) <sup>A,a</sup>	57,10 (1,95) <sup>B,a</sup>	83,09 (0,66) <sup>A,a</sup>	57,26 (2,63) <sup>B,a</sup>	83,27 (2,38) <sup>A,a</sup>	69,96 (2,00) <sup>B,a</sup>	84,36 (0,84) <sup>A,a</sup>
2	48,12 (2,28) <sup>B,b</sup>	76,18 (2,16) <sup>A,ab</sup>	54,11 (2,59) <sup>B,ab</sup>	81,17 (0,62) <sup>A,a</sup>	55,39 (1,63) <sup>B,a</sup>	80,86 (1,66) <sup>A,a</sup>	67,92 (1,55) <sup>B,ab</sup>	83,05 (1,61) <sup>A,a</sup>
3	44,36 (1,80) <sup>B,b</sup>	71,36 (2,07) <sup>A,b</sup>	50,62 (1,61) <sup>B,b</sup>	78,78 (1,12) <sup>A,ab</sup>	57,50 (2,29) <sup>B,a</sup>	81,22 (1,63) <sup>A,a</sup>	65,21 (1,12) <sup>B,b</sup>	77,53 (0,58) <sup>A,b</sup>
4	37,16 (2,89) <sup>B,c</sup>	62,11 (3,32) <sup>A,c</sup>	52,03 (1,54) <sup>B,ab</sup>	76,43 (0,22) <sup>A,b</sup>	54,87 (2,30) <sup>B,a</sup>	79,01 (2,01) <sup>A,a</sup>	56,67 (0,40) <sup>B,c</sup>	68,14 (2,73) <sup>A,c</sup>

Fonte: O autor.

O tratamento térmico aumentou o grau de conversão para todas as profundidades de todos os materiais testados, independentemente do fotopolimerizador utilizado ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 5.2 e 5.3).

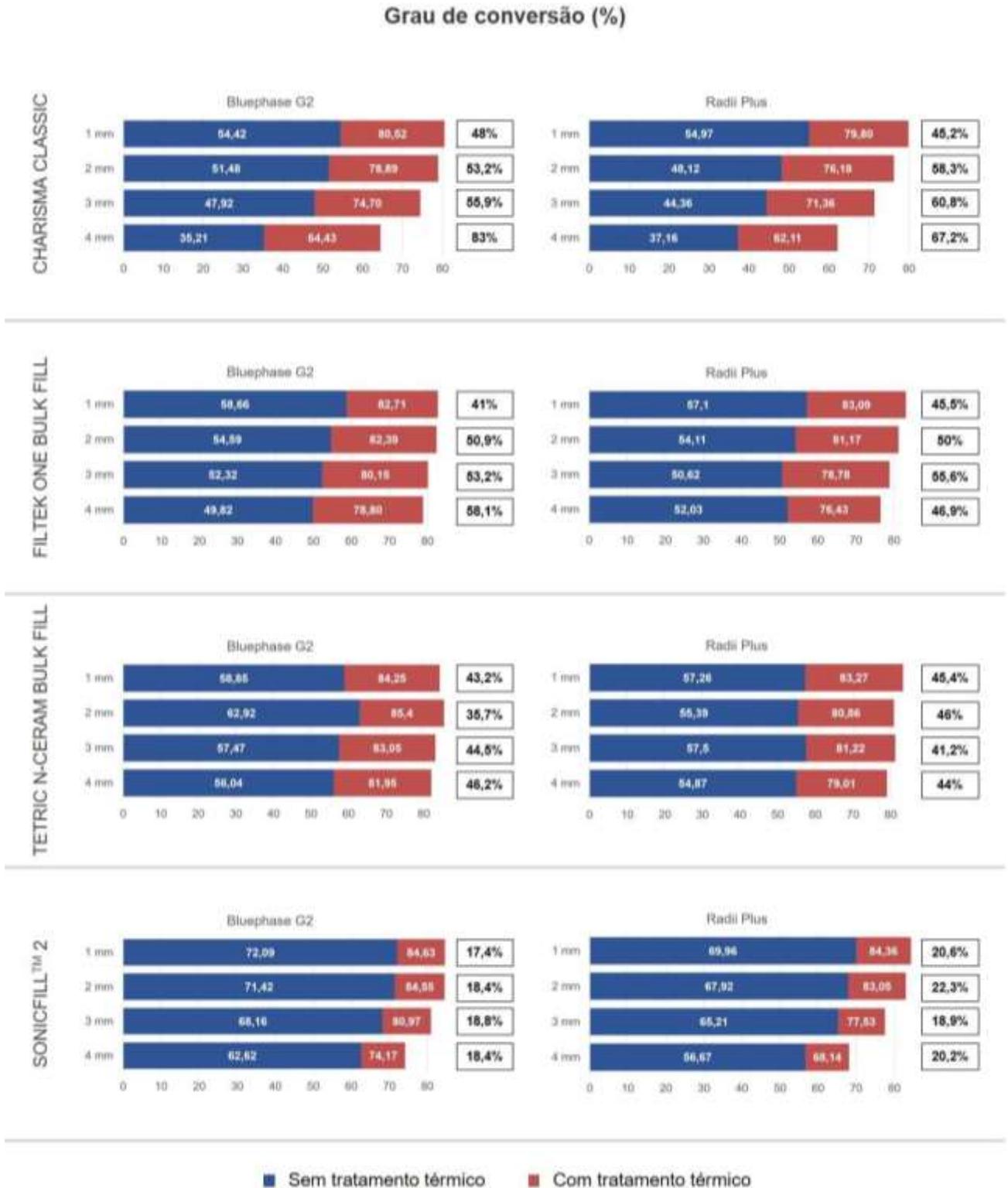
Para a resina composta Charisma Classic, manteve-se a homogeneização nos três primeiros milímetros ( $p \geq 0,05$ ) e o grau de conversão aumentou 48% no 1 mm e 83% no 4 mm com o Bluephase G2. Para o Radii Plus, o aumento foi 45,2% no 1 mm e 67,2% no 4 mm (Figura 5.5).

Para a resina composta Filtek One Bulk Fill, um aumento estatisticamente significativo de 41% e 45,5% no 1 mm e de 58,1% e 46,9% no 4 mm para Bluephase G2 e Radium Plus, respectivamente, foram observados ( $p < 0,05$ ). No caso do Bluephase G2, o aumento nos valores proporcionou a homogeneização do grau de conversão em profundidade ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.5).

Para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill, os valores se mantiveram homogêneos após tratamento térmico para ambos fotopolimerizadores (Figura 5.5). No 1 mm, os aumentos foram de 43,2% (Bluephase G2) e 45,4% (Radium Plus). No 4 mm, de 46,2% e 44%, para o Bluephase G2 e Radium Plus, respectivamente.

Para a resina composta SonicFill™ 2 quando fotopolimerizada com o Bluephase G2, o aumento no grau de conversão após tratamento térmico foi o menor dentre os materiais, de 17,4% para o 1 mm e 18,4% para o 4 mm ( $p < 0,05$ ). Para o Radium Plus, o aumento foi de 20,6% no 1 mm e 20,2% no 4 mm ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.5).

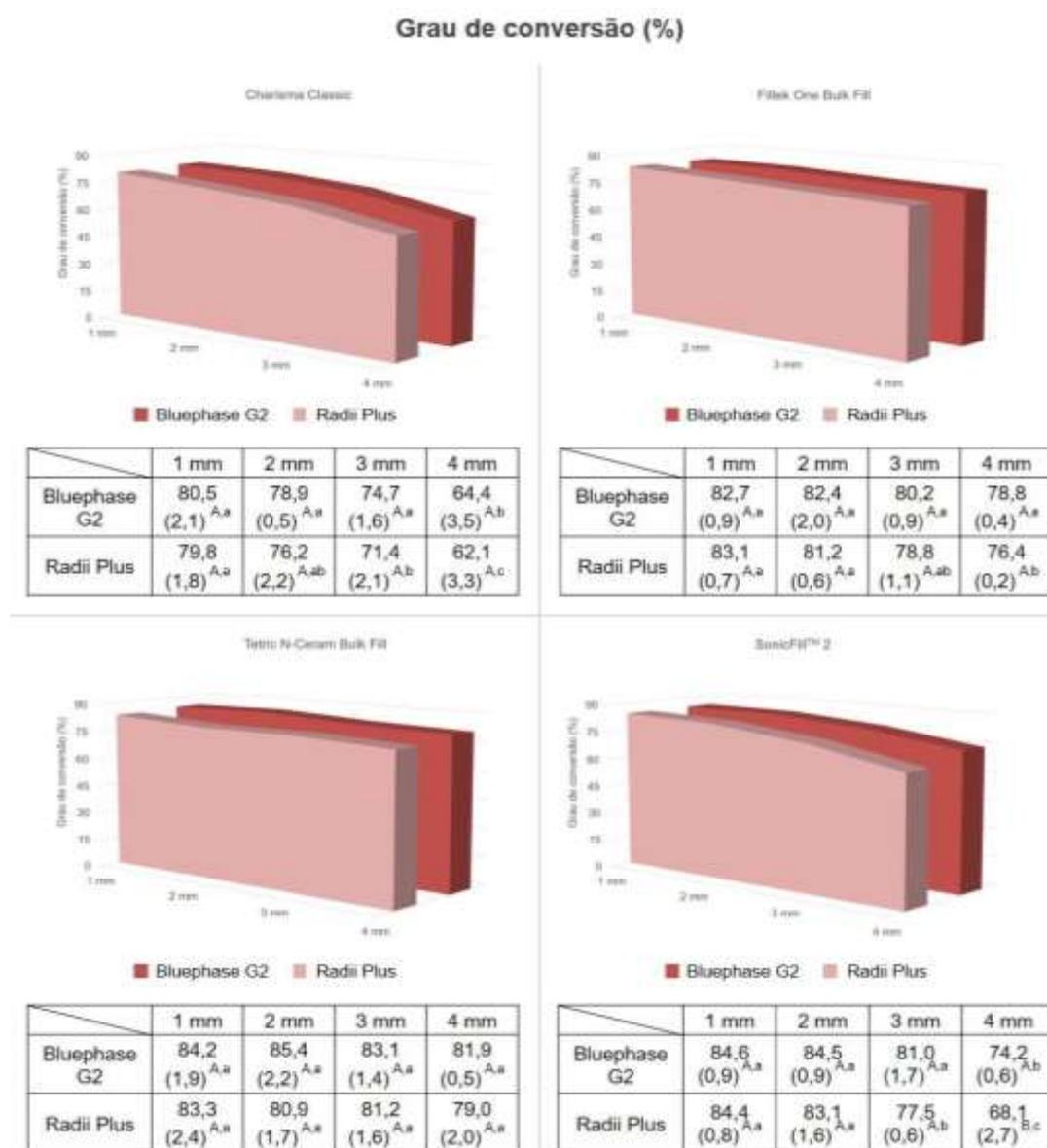
Figura 5.5 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) do grau de conversão após tratamento térmico



Fonte: O autor.

Conforme mostra a figura 5.6, exceto para o 4 mm para a resina composta SonicFill™ 2 ( $p < 0,05$ ), não houve diferença estatística entre fotopolimerizadores na condição com tratamento térmico ( $p \geq 0,05$ ).

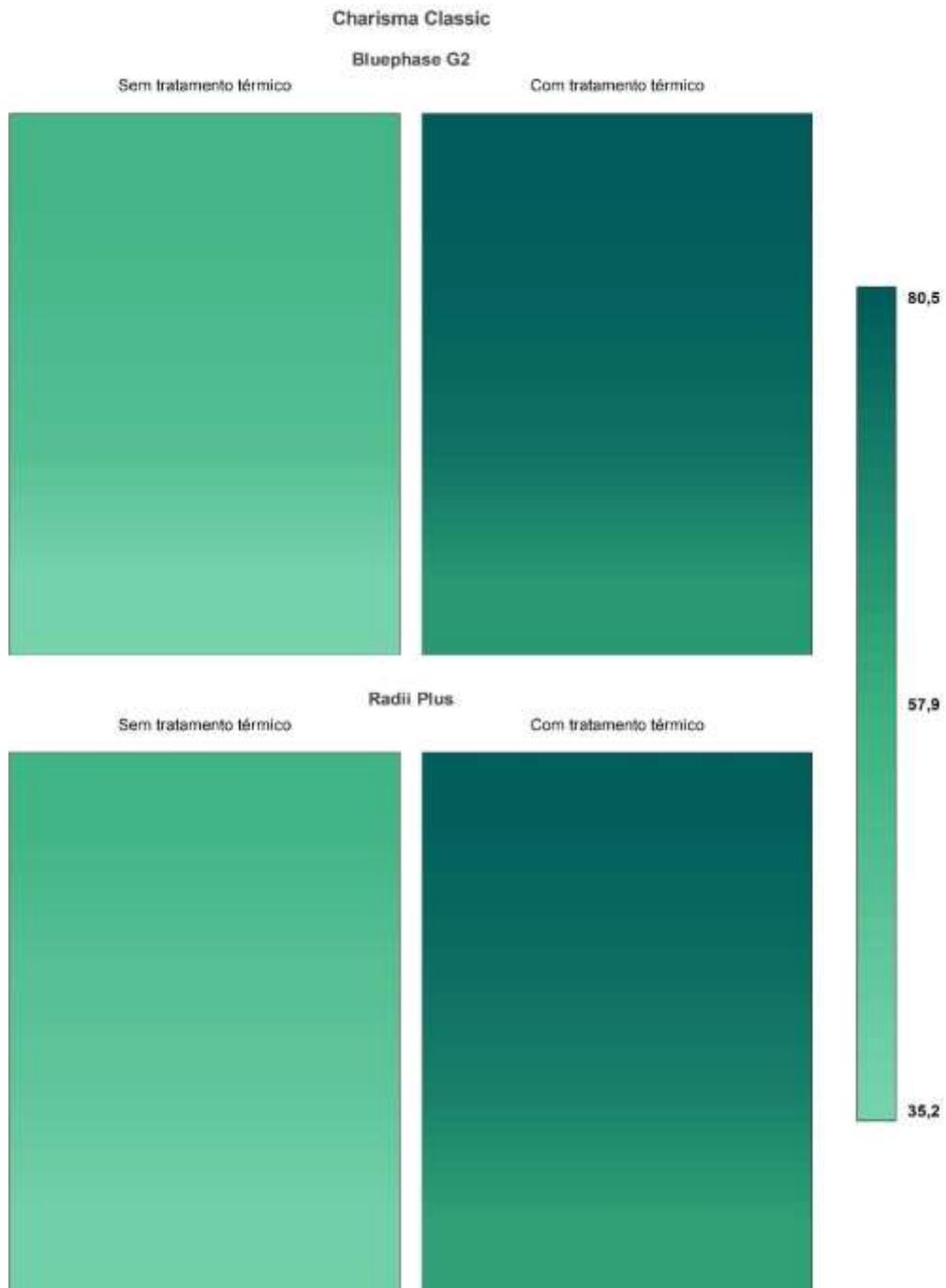
Figura 5.6 - Médias e desvios-padrões do grau de conversão (%) das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material



Fonte: O autor.

Para melhor visualização do efeito do tratamento térmico, as figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 mostram o grau de conversão dos diferentes materiais e condições testadas em escala cromática.

Figura 5.7 – Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Charisma Classic considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Charisma Classic



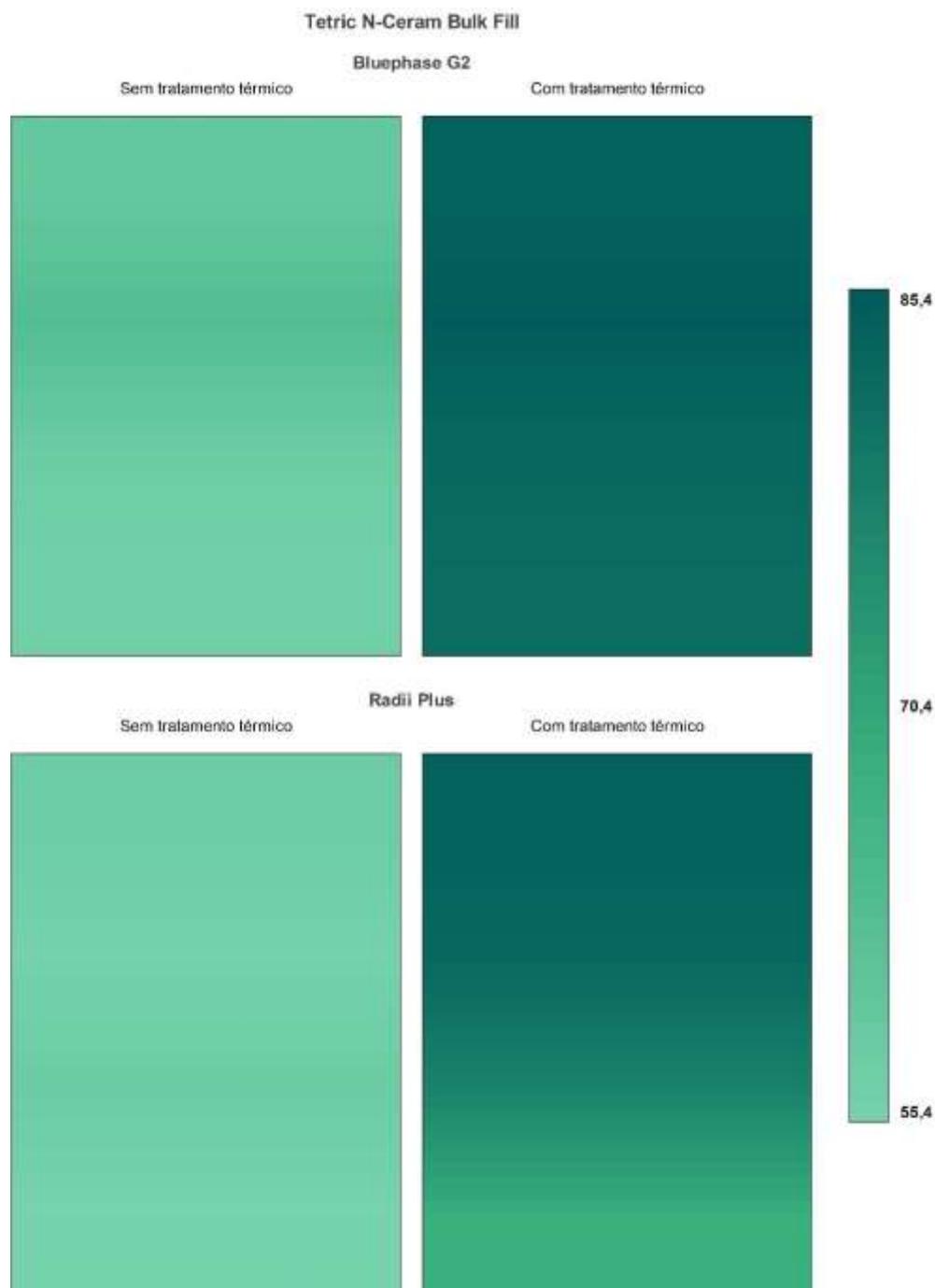
Fonte: O autor.

Figura 5.8 – Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Filtek One Bulk Fill considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Filtek One Bulk Fill



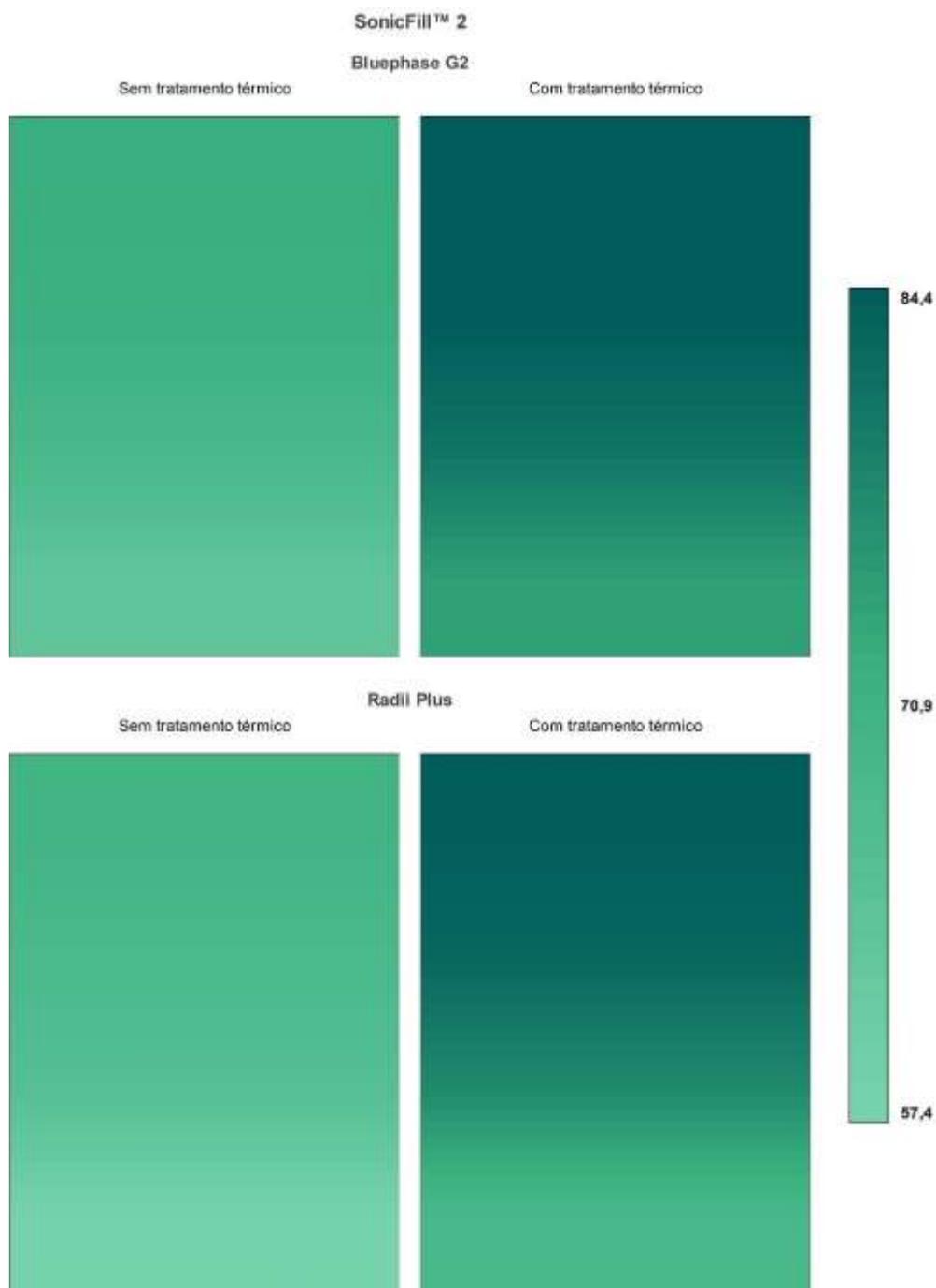
Fonte: O autor.

Figura 5.9 – Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill



Fonte: O autor.

Figura 5.10 – Escala cromática do grau de conversão (%) da resina composta SonicFill™ 2 considerando as variáveis fotopolimerizador, profundidade e tratamento. A escala cromática à direita demonstra os valores mínimo e máximo de grau de conversão (%) obtidos para a resina composta SonicFill™ 2



Fonte: O autor.

Para investigar a influência de todas as variáveis e seus subníveis no grau de conversão dos materiais testados, foi realizada a análise de regressão de Poisson (Tabela 5.4). De maneira geral, a resina composta SonicFill™ 2 apresentou o melhor desempenho dentre os materiais, 21% melhor que a Charisma Classic. O fotopolimerizador Bluephase G2 teve um desempenho 4% melhor que o Radium Plus e o tratamento térmico aumentou em média em 40% o grau de conversão para todos os materiais. Uma tendência de diminuição no grau de conversão de 5% a cada milímetro foi observada.

Tabela 5.4 – Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para o grau de conversão (%). Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável

Variável	Média (%)	DP	IRR Univariado 95% CI	p-valor	IRR Ajustado 95% CI	p-valor
<b>MATERIAL</b>						
Charisma Classic $\epsilon$	60,10	15,26				
Filtek One Bulk Fill	67,04	13,83	1,11 (1,09 – 1,13)	<0,001*	1,11 (1,09 – 1,13)	<0,001*
Tetric N-Ceram Bulk Fill	69,95	12,83	1,16 (1,13 – 1,19)	<0,001*	1,16 (1,13 – 1,19)	<0,001*
SonicFill™ 2	73,21	8,47	1,21 (1,19 – 1,23)	<0,001*	1,21 (1,19 – 1,23)	<0,001*
<b>FOTOPOLIMERIZADOR</b>						
Bluephase G2 $\epsilon$	68,61	13,78				
Radium Plus	66,55	13,50	0,96 (0,95 – 0,98)	<0,001*	0,96 (0,95 – 0,98)	<0,001*
<b>CONDIÇÃO DE TRATAMENTO</b>						
Sem tratamento térmico $\epsilon$	56,16	8,76				
Com tratamento térmico	78,99	5,83	1,40 (1,30 – 1,42)	<0,001*	1,40 (1,39 – 1,42)	<0,001*
<b>PROFUNDIDADE</b>						
1 mm $\epsilon$	71,62	12,34				
2 mm	69,90	13,23	0,95 (0,94 – 0,96)	<0,001*	0,95 (0,94 – 0,96)	<0,001*
3 mm	66,95	13,20				
4 mm	61,84	14,08				
<b>TOTAL</b>	67,58	13,64				

Fonte: O autor.

## 5.2 PROPRIEDADES ÓPTICAS

Os resultados obtidos através das leituras de refletância em fundo branco foram utilizados para a análise das propriedades ópticas. Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  obtidos nas diferentes condições de tratamento (sem tratamento térmico e com tratamento térmico) estão dispostos na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Médias e desvios-padrões dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  em fundo branco das resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador

Material	Fotopolimerizador	Condição de tratamento	Parâmetro		
			$L^*$	$a^*$	$b^*$
Charisma Classic	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	77,46 (0,33)	2,72 (0,19)	25,81 (0,23)
		Com tratamento térmico	77,21 (0,27)	2,90 (0,25)	26,56 (0,23)
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	77,72 (0,55)	0,46 (0,21)	25,83 (0,33)
		Com tratamento térmico	77,73 (0,39)	0,55 (0,22)	26,52 (0,34)
Filtek One Bulk Fill	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	77,47 (0,48)	-0,82 (0,07)	14,57 (0,31)
		Com tratamento térmico	77,91 (0,40)	-1,47 (0,07)	17,60 (0,42)
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	77,25 (0,42)	-1,05 (0,10)	15,69 (0,51)
		Com tratamento térmico	77,60 (0,26)	-1,48 (0,11)	18,14 (0,26)
Tetric N-Ceram Bulk Fill	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	78,27 (0,69)	-2,38 (0,07)	9,53 (0,23)
		Com tratamento térmico	77,98 (0,66)	-2,29 (0,09)	11,01 (0,21)
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	78,80 (0,71)	-3,17 (0,13)	10,56 (0,39)
		Com tratamento térmico	78,72 (0,52)	-3,22 (0,11)	12,19 (0,49)
SonicFill™ 2	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	75,27 (0,84)	0,85 (0,16)	13,59 (0,36)
		Com tratamento térmico	74,86 (0,92)	0,26 (0,13)	15,50 (0,34)
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	75,17 (0,36)	0,65 (0,23)	14,31 (0,20)
		Com tratamento térmico	75,00 (0,35)	0,08 (0,21)	16,02 (0,25)

Fonte: O autor.

### 5.2.1 Parâmetro de Translucidez (PT<sub>00</sub>)

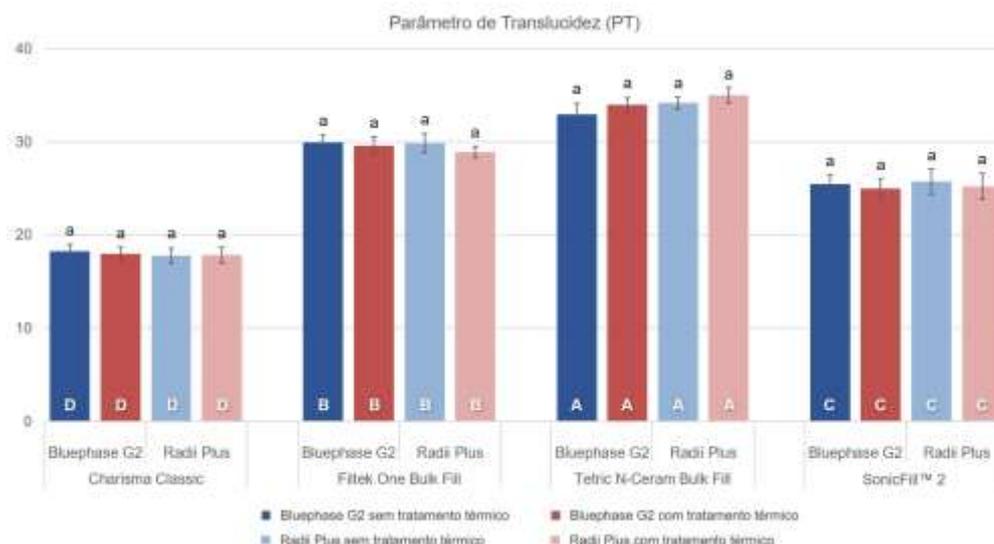
Para a análise do parâmetro de translucidez, foram consideradas as variáveis *material*, *fotopolimerizador* e *condição de tratamento*. Dentro de cada material, não houve diferença estatística entre os valores de parâmetro de translucidez entre as condições sem e com tratamento térmico, independentemente do fotopolimerizador utilizado ( $p \geq 0,05$ ). A tabela 5.6 e a figura 5.11 dispõem os resultados de parâmetro de translucidez para os materiais testados.

Tabela 5.6 – Médias e desvios-padrões do parâmetro de translucidez (PT<sub>00</sub>) das resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas as variáveis fotopolimerizador e condição de tratamento dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ )

Material	Fotopolimerizador	Condição de tratamento	Parâmetro de Translucidez
Charisma Classic	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	18,30 (0,70) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	17,98 (0,69) <sup>a</sup>
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	17,80 (0,82) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	17,84 (0,82) <sup>a</sup>
Filtek One Bulk Fill	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	29,92 (0,83) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	29,63 (0,91) <sup>a</sup>
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	29,89 (1,02) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	28,94 (0,62) <sup>a</sup>
Tetric N-Ceram Bulk Fill	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	32,99 (1,13) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	33,99 (0,80) <sup>a</sup>
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	34,18 (0,62) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	35,03 (0,81) <sup>a</sup>
SonicFill™ 2	Bluephase G2	Sem tratamento térmico	25,48 (0,97) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	25,00 (1,07) <sup>a</sup>
	Ratii Plus	Sem tratamento térmico	25,77 (1,37) <sup>a</sup>
		Com tratamento térmico	25,23 (1,43) <sup>a</sup>

Fonte: O autor.

Figura 5.11 - Médias e desvios-padrões do parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ) nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas sobre as barras indicam diferença estatística para ambas variáveis fotopolimerizador e condição de tratamento dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas distintas localizadas na base das barras indicam diferença estatística quando todos as condições são comparadas



Fonte: O autor.

### 5.2.2 Variação de cor ( $\Delta E_{00}$ )

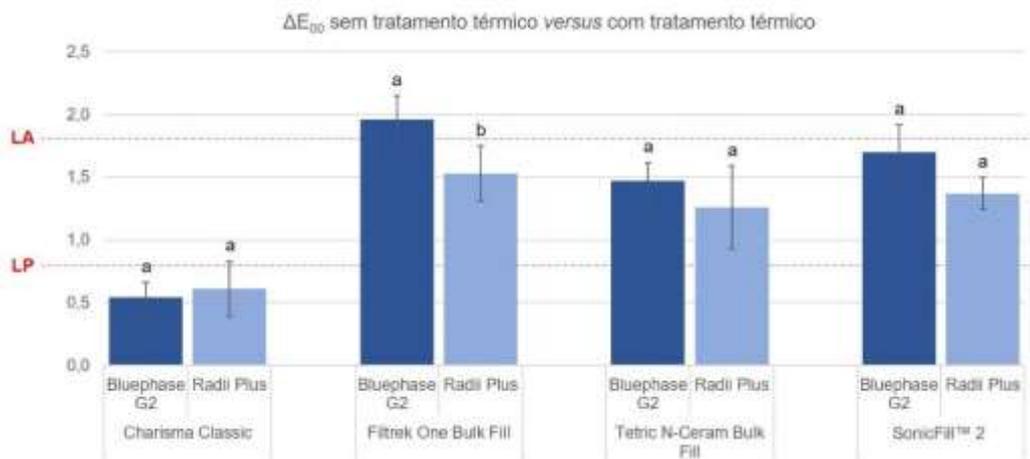
Para a análise da variação de cor entre as condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico, foram realizadas comparações considerando a variável *fotopolimerizador* para cada material. Todos os materiais apresentaram variação de cor após tratamento térmico para ambos fotopolimerizadores. Para os materiais Charisma Classic, Tetric N-Ceram Bulk Fill e SonicFill™ 2 não houve diferença de  $\Delta E_{00}$  quando os diferentes fotopolimerizadores foram avaliados ( $p \geq 0,05$ ). A resina composta Filtek One Bulk Fill apresentou maior  $\Delta E_{00}$  quando fotopolimerizada com Bluephase G2 em comparação ao Radii Plus ( $p < 0,05$ ). A tabela 5.7 dispõe os resultados de  $\Delta E_{00}$  para os materiais testados e a figura 5.12 apresenta os valores de  $\Delta E_{00}$  levando em consideração os valores para os limites de perceptibilidade (0,8) e aceitabilidade (1,8) propostos por Paravina et al.<sup>157</sup>.

Tabela 5.7 – Médias e desvios-padrões da variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) das resinas compostas estudadas na comparação entre as condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas as variáveis fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ )

Material	Fotopolimerizador	$\Delta E$
Charisma Classic	Bluephase G2	0,54 (0,12) <sup>a</sup>
	Radii Plus	0,61 (0,22) <sup>a</sup>
Filtek One Bulk Fill	Bluephase G2	1,96 (0,19) <sup>a</sup>
	Radii Plus	1,53 (0,22) <sup>b</sup>
Tetric N-Ceram Bulk Fill	Bluephase G2	1,47 (0,14) <sup>a</sup>
	Radii Plus	1,26 (0,33) <sup>a</sup>
SonicFill™ 2	Bluephase G2	1,7 (0,22) <sup>a</sup>
	Radii Plus	1,37 (0,13) <sup>a</sup>

Fonte: O autor.

Figura 5.12 - Médias e desvios-padrões de variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) entre as condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparados diferentes fotopolimerizadores dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ ). LP e LA significam limite de perceptibilidade (0,8) e limite de aceitabilidade (1,8), respectivamente

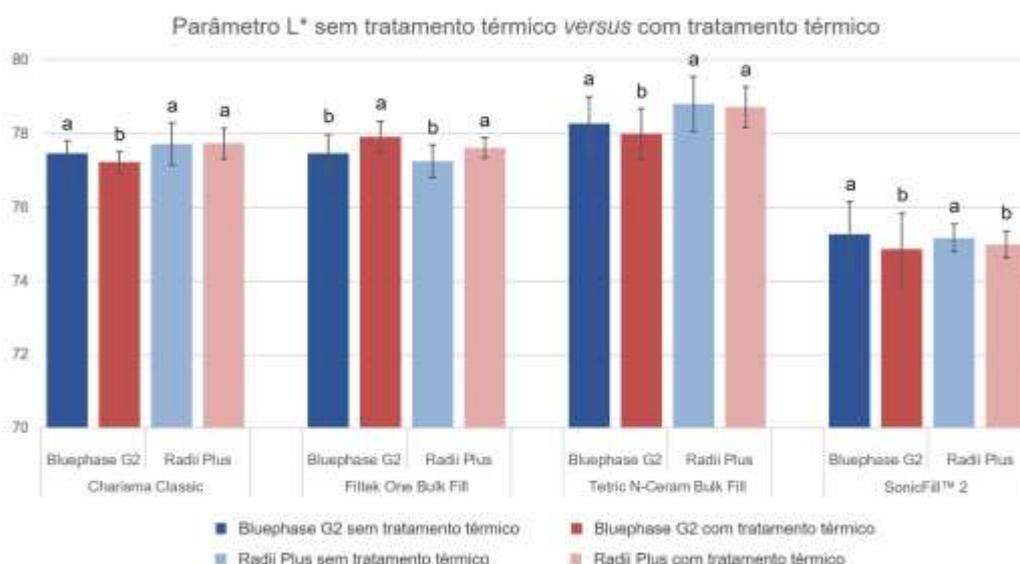


Fonte: O autor.

Para uma investigação mais aprofundada em relação à variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) experimentada pelos materiais, foram analisadas as mudanças entre os valores dos eixos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  considerando as variáveis *fotopolimerizador* nas diferentes *condições de tratamento* para cada material.

Para o eixo  $L^*$  (preto-branco), todos os materiais apresentaram alguma mudança significativa após tratamento térmico, seja pela variável *fotopolimerizador* ou *condição de tratamento* ( $p < 0,05$ ). Para Charisma Classic, o parâmetro  $L^*$  diminuiu para o fotopolimerizador Bluephase G2 ( $p < 0,05$ ). Para a resina composta Filtek One Bulk Fill, o tratamento térmico aumentou significativamente o eixo  $L^*$  para ambos fotopolimerizadores ( $p < 0,05$ ). Em contrapartida, para as resinas compostas Tetric N-Ceram Bulk Fill fotopolimerizada pelo Bluephase G2 e SonicFill™ 2 com ambos fotopolimerizadores, o tratamento térmico diminuiu o eixo  $L^*$  ( $p < 0,05$ ). A tabela 5.5 e a figura 5.13 dispõem os resultados para o eixo  $L^*$  em função do *fotopolimerizador* e da *condição de tratamento* para todos os materiais estudados.

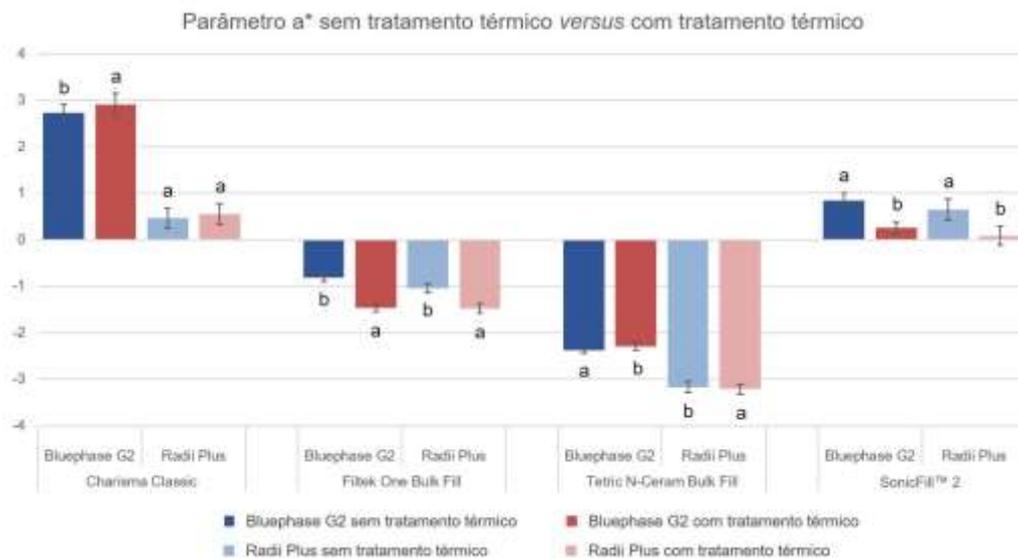
Figura 5.13 - Médias e desvios-padrões do eixo  $L^*$  nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparados diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

As resinas compostas Charisma Classic e Tetric N-Ceram Bulk Fill fotopolimerizadas com Bluephase G2 apresentaram variação estatisticamente significativa no eixo  $a^*$  (verde-vermelho) ( $p < 0,05$ ) com tendências no caso da Charisma Classic à intensificação do vermelho e no caso da Tetric N-Ceram Bulk Fill, à diminuição do verde devido à variação em direção ao vermelho. Filtek One Bulk Fill com ambos fotopolimerizadores e Tetric N-Ceram Bulk Fill fotopolimerizada com Rádi Plus apresentaram variações significativas ( $p < 0,05$ ) evidenciando uma tendência ao verde. Para a resina composta SonicFill™ 2, o tratamento térmico diminuiu significativamente o eixo  $a^*$  independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ), levando à diminuição de intensidade do vermelho devido à tendência em direção ao verde (Figura 5.14).

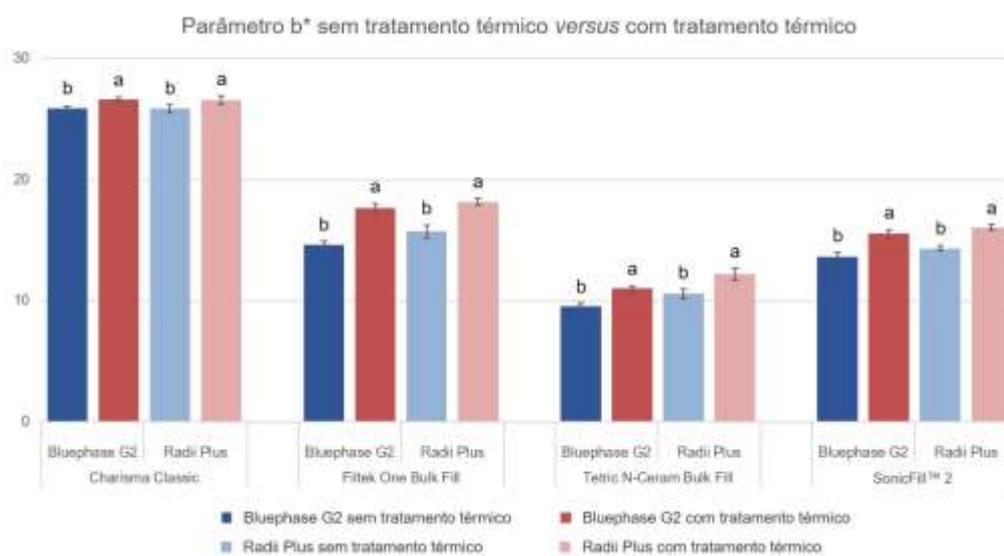
Figura 5.14 - Médias e desvios-padrões do eixo  $a^*$  nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

Para o eixo  $b^*$  (azul-amarelo), foi observada uma tendência significativa positiva em direção ao amarelo após tratamento térmico para todos os materiais, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.15).

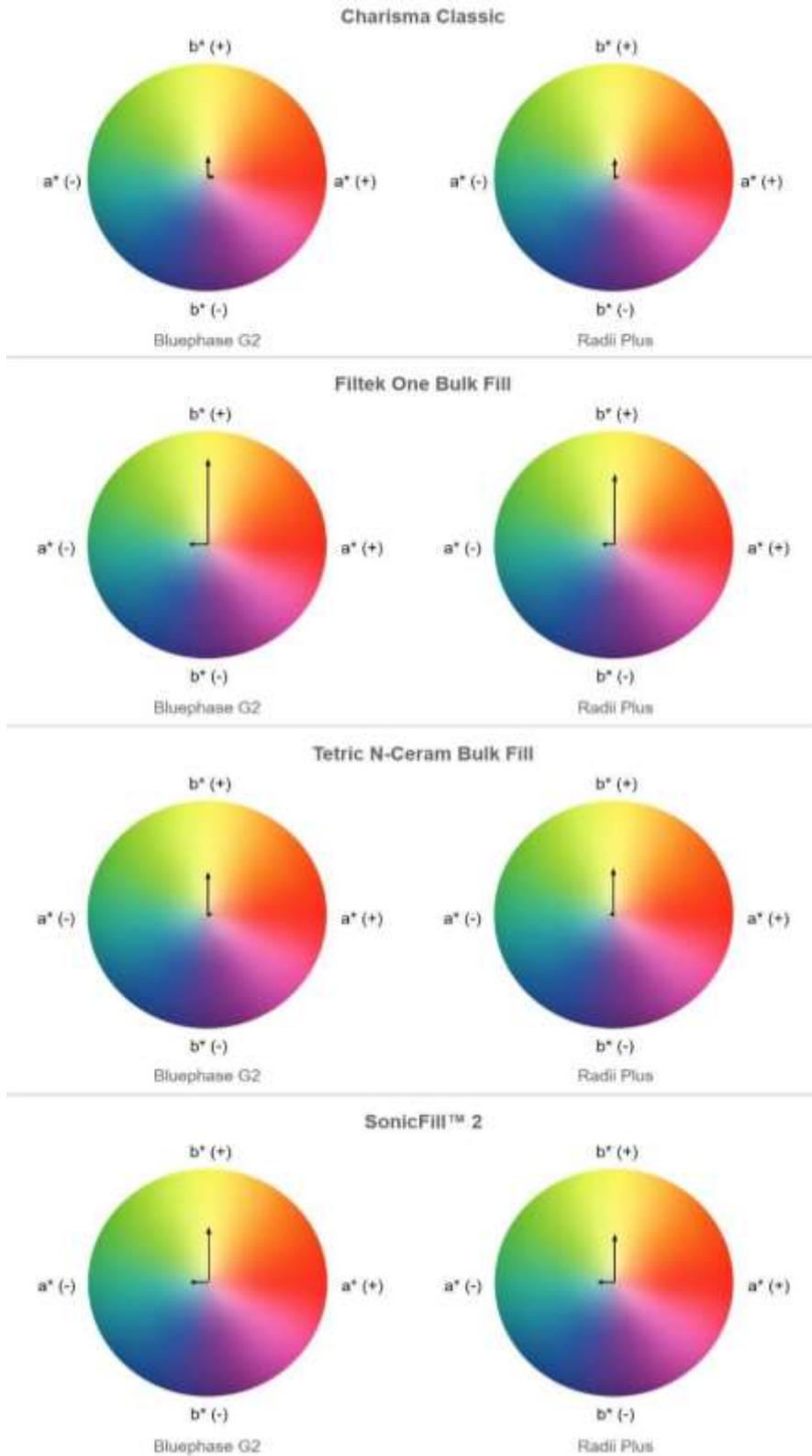
Figura 5.15 - Médias e desvios-padrões do eixo  $b^*$  nas condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas composta estudadas em função do fotopolimerizador. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas diferentes condições de tratamento para um mesmo fotopolimerizador dentro de um mesmo material ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

Para uma melhor compreensão visual das alterações de cor dentre os materiais, a figura 5.16 traz os resultados dos eixos  $a^*$  e  $b^*$  em escala cromática baseada no sistema de cores de Munsell.

Figura 5.16 – Escala cromática indicativa da magnitude da diferença nos eixos  $a^*$  e  $b^*$  entre as condições sem e com tratamento térmico de todas as resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador



Fonte: O autor.

### 5.3 NANODUREZA

Para a análise da nanodureza, foram consideradas as variáveis *material*, *fotopolimerizador* (Bluephase G2 e Rádi Plus), *condição de tratamento* (sem tratamento térmico, com tratamento térmico) e *profundidade* (topo, 1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm).

#### 5.3.1 Em tratamento térmico

Os resultados de nanodureza para os materiais testados na condição sem tratamento térmico para as diferentes profundidades e fotopolimerizadores estão dispostos na tabela 5.8.

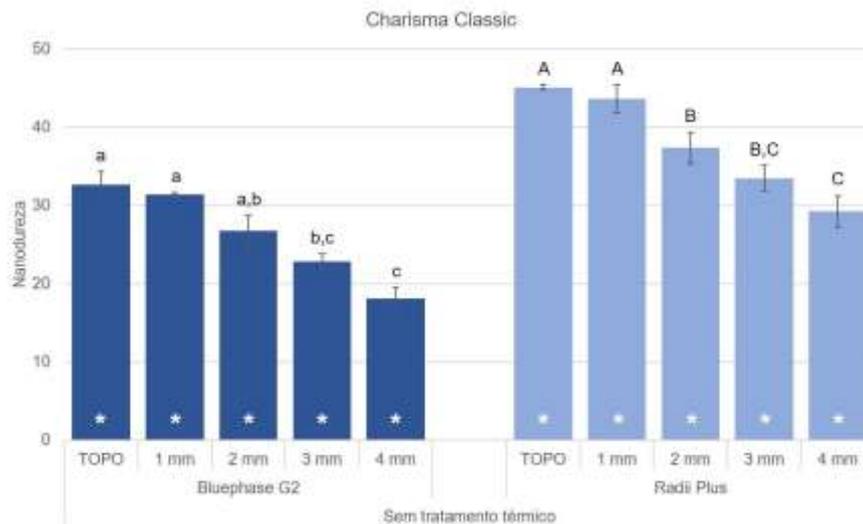
Tabela 5.8 – Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material

Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Bluephase G2	Rádi Plus	Bluephase G2	Rádi Plus	Bluephase G2	Rádi Plus	Bluephase G2	Rádi Plus
Topo	32,65 (1,66) <sup>B,a</sup>	45,05 (0,31) <sup>A,a</sup>	46,48 (1,17) <sup>A,a</sup>	46,58 (2,20) <sup>A,a</sup>	34,32 (1,86) <sup>A,abc</sup>	37,89 (0,95) <sup>A,a</sup>	60,16 (3,24) <sup>A,a</sup>	59,97 (3,22) <sup>A,a</sup>
1	31,36 (0,33) <sup>B,a</sup>	43,58 (1,77) <sup>A,a</sup>	47,76 (1,41) <sup>A,a</sup>	45,57 (0,98) <sup>A,a</sup>	39,90 (0,65) <sup>A,a</sup>	37,96 (0,44) <sup>A,a</sup>	57,58 (2,01) <sup>A,a</sup>	58,21 (2,22) <sup>A,a</sup>
2	26,72 (1,94) <sup>B,ab</sup>	37,33 (2,02) <sup>A,b</sup>	45,14 (1,28) <sup>A,a</sup>	43,35 (1,72) <sup>A,a</sup>	36,86 (0,65) <sup>A,abc</sup>	35,47 (1,20) <sup>A,a</sup>	56,29 (1,74) <sup>A,a</sup>	55,69 (2,19) <sup>A,a</sup>
3	22,84 (0,96) <sup>B,bc</sup>	33,47 (1,63) <sup>A,bc</sup>	42,05 (0,25) <sup>A,ab</sup>	40,92 (0,56) <sup>A,ab</sup>	35,59 (0,86) <sup>A,abc</sup>	33,83 (0,86) <sup>A,ab</sup>	54,80 (2,52) <sup>A,a</sup>	55,84 (2,04) <sup>A,a</sup>
4	18,12 (1,36) <sup>B,c</sup>	29,20 (1,97) <sup>A,c</sup>	38,70 (1,16) <sup>A,b</sup>	36,53 (0,69) <sup>A,b</sup>	32,55 (1,81) <sup>A,c</sup>	29,08 (0,82) <sup>A,b</sup>	48,12 (2,10) <sup>A,b</sup>	46,70 (2,71) <sup>A,b</sup>

Fonte: O autor.

A resina composta convencional Charisma Classic apresentou valores de nanodureza semelhantes do topo ao 2 mm ( $p \geq 0,05$ ) e uma redução de 44,5% do topo ao 4 mm quando fotopolimerizada com Bluephase G2. Para o fotopolimerizador Rádi Plus, a redução foi de 35,1%. Para cada profundidade, os valores observados para o Rádi Plus foram estatisticamente maiores em comparação ao Bluephase G2 ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.17).

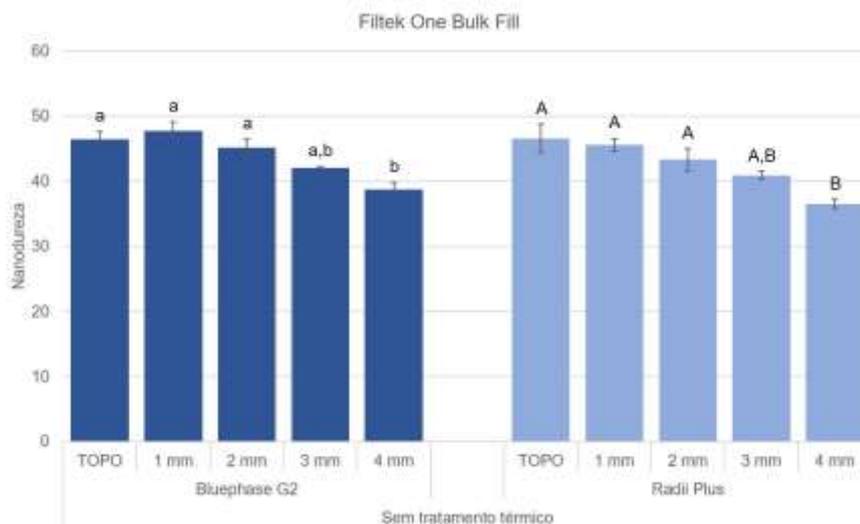
Figura 5.17 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador. Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta Filtek One Bulk Fill apresentou redução estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de nanodureza do 1 mm ao 4 mm de 16,7% e 21,5% quando fotopolimerizada com o Bluephase G2 e Rádi Plus, respectivamente. Para cada profundidade, não houve diferença estatisticamente significativa entre os fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.18).

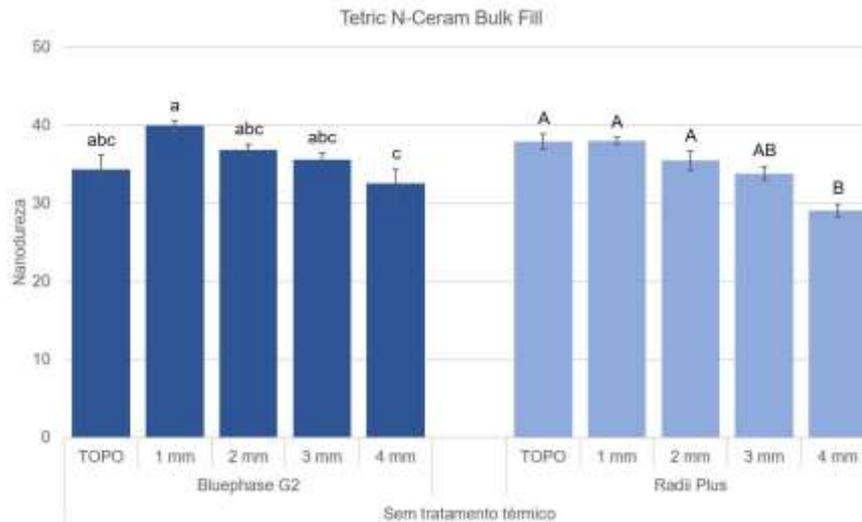
Figura 5.18 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill apresentou redução estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de nanodureza do 1 mm ao 4 mm de 5,1% e 23,2% quando fotopolimerizada com Bluephase G2 e Radii Plus, respectivamente. Para cada profundidade, não houve diferença estatisticamente significativa entre os fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.19).

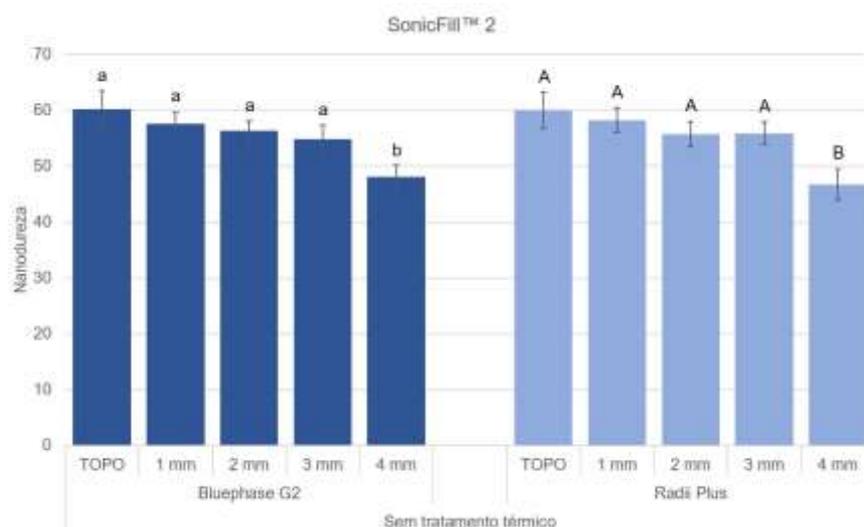
Figura 5.19 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

SonicFill™ 2 apresentou redução da nanodureza em profundidade ( $p < 0,05$ ), independente ao fotopolimerizador. Quando fotopolimerizada com Bluephase G2, a redução foi de 20,1%, valor próximo à redução observada com Radii Plus, de 22,1%. Para cada profundidade, não houve diferença estatisticamente significativa entre os fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.20).

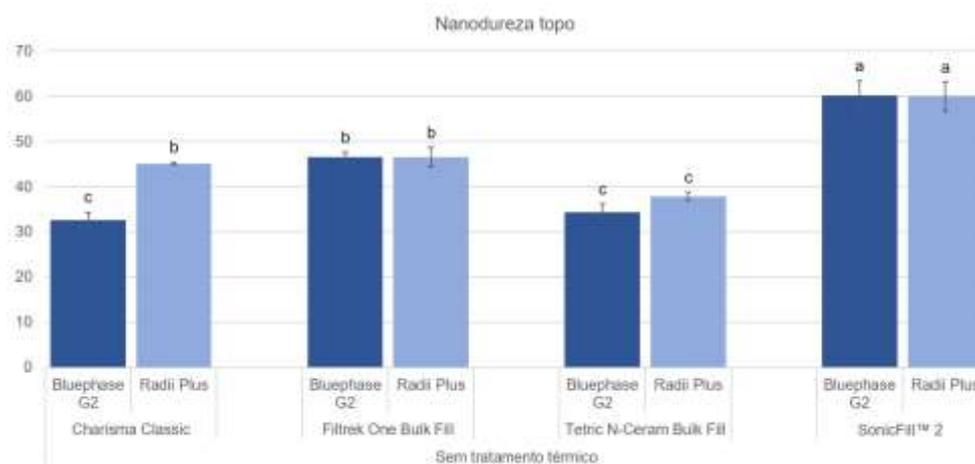
Figura 5.20 - Médias e desvios-padrões de nanodureza da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

Tendo em vista que uma correlação direta tem sido observada na literatura entre nanodureza e resistência ao desgaste<sup>159,160</sup>, a figura 5.21 dispõe a análise entre os topos dos materiais estudados em função do fotopolimerizador.

Figura 5.21 - Médias e desvios-padrões de nanodureza para a superfície topo das resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas indicam diferença entre fotopolimerizadores para um mesmo material ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

### 5.3.2 Com tratamento térmico

Os resultados de nanodureza para os materiais testados na condição com tratamento térmico para as diferentes profundidades e fotopolimerizadores estão dispostos nas tabelas 5.9 e 5.10 respectivamente.

Tabela 5.9 – Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico) em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de uma mesma condição de tratamento para um mesmo material

Bluephase G2								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	32,65 (1,66) <sup>B,a</sup>	57,32 (2,00) <sup>A,a</sup>	46,48 (1,17) <sup>B,a</sup>	60,34 (0,28) <sup>A,a</sup>	34,32 (1,86) <sup>B,abc</sup>	45,07 (2,69) <sup>A,a</sup>	60,16 (3,24) <sup>A,a</sup>	66,12 (0,80) <sup>A,a</sup>
1	31,36 (0,33) <sup>B,a</sup>	53,40 (2,37) <sup>A,ab</sup>	47,76 (1,41) <sup>B,a</sup>	60,03 (2,07) <sup>A,a</sup>	39,90 (0,65) <sup>B,a</sup>	47,43 (2,37) <sup>A,a</sup>	57,58 (2,01) <sup>A,a</sup>	65,97 (2,61) <sup>A,a</sup>
2	26,72 (1,94) <sup>B,ab</sup>	50,58 (0,91) <sup>A,b</sup>	45,14 (1,28) <sup>B,a</sup>	59,47 (2,20) <sup>A,a</sup>	36,86 (0,65) <sup>B,abc</sup>	42,83 (2,35) <sup>A,a</sup>	56,29 (1,74) <sup>A,a</sup>	64,53 (1,68) <sup>A,a</sup>
3	22,84 (0,96) <sup>B,bc</sup>	47,71 (1,97) <sup>A,b</sup>	42,05 (0,25) <sup>B,ab</sup>	55,24 (2,25) <sup>A,a</sup>	35,59 (0,86) <sup>B,abc</sup>	42,20 (1,98) <sup>A,a</sup>	54,80 (2,52) <sup>A,a</sup>	61,01 (2,32) <sup>A,a</sup>
4	18,12 (1,36) <sup>B,c</sup>	41,06 (2,19) <sup>A,c</sup>	38,70 (1,16) <sup>B,b</sup>	51,92 (1,59) <sup>A,a</sup>	32,55 (1,81) <sup>B,c</sup>	39,00 (2,00) <sup>A,a</sup>	48,12 (2,10) <sup>A,b</sup>	56,69 (2,67) <sup>A,a</sup>

Fonte: O autor.

Tabela 5.10 – Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Rarii Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico) em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de uma mesma condição de tratamento térmico para um mesmo material

Rarii Plus								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	45,05 (0,31) <sup>B,a</sup>	57,94 (1,92) <sup>A,a</sup>	46,58 (2,20) <sup>B,a</sup>	60,54 (0,59) <sup>A,a</sup>	37,89 (0,95) <sup>B,a</sup>	45,69 (2,92) <sup>A,a</sup>	59,97 (3,22) <sup>A,a</sup>	67,11 (1,39) <sup>A,a</sup>
1	43,58 (1,77) <sup>B,a</sup>	52,98 (2,06) <sup>A,ab</sup>	45,57 (0,98) <sup>B,a</sup>	60,33 (1,29) <sup>A,a</sup>	37,96 (0,44) <sup>B,a</sup>	45,28 (1,38) <sup>A,a</sup>	58,21 (2,22) <sup>A,a</sup>	64,25 (2,78) <sup>A,ab</sup>
2	37,33 (2,02) <sup>B,b</sup>	49,11 (2,25) <sup>A,ab</sup>	43,35 (1,72) <sup>B,a</sup>	56,98 (1,48) <sup>A,ab</sup>	35,47 (1,20) <sup>B,a</sup>	43,96 (1,89) <sup>A,ab</sup>	55,69 (2,19) <sup>A,a</sup>	61,15 (1,87) <sup>A,ab</sup>
3	33,47 (1,63) <sup>B,bc</sup>	46,46 (1,74) <sup>A,b</sup>	40,92 (0,56) <sup>B,ab</sup>	53,42 (2,05) <sup>A,ab</sup>	33,83 (0,86) <sup>B,ab</sup>	39,96 (0,81) <sup>A,ab</sup>	55,84 (2,04) <sup>A,a</sup>	55,25 (1,52) <sup>A,bc</sup>
4	29,20 (1,97) <sup>B,c</sup>	38,73 (1,75) <sup>A,c</sup>	36,53 (0,69) <sup>B,b</sup>	47,45 (0,24) <sup>A,b</sup>	29,08 (0,82) <sup>B,b</sup>	37,63 (2,62) <sup>A,b</sup>	46,70 (2,71) <sup>A,b</sup>	47,82 (1,20) <sup>A,c</sup>

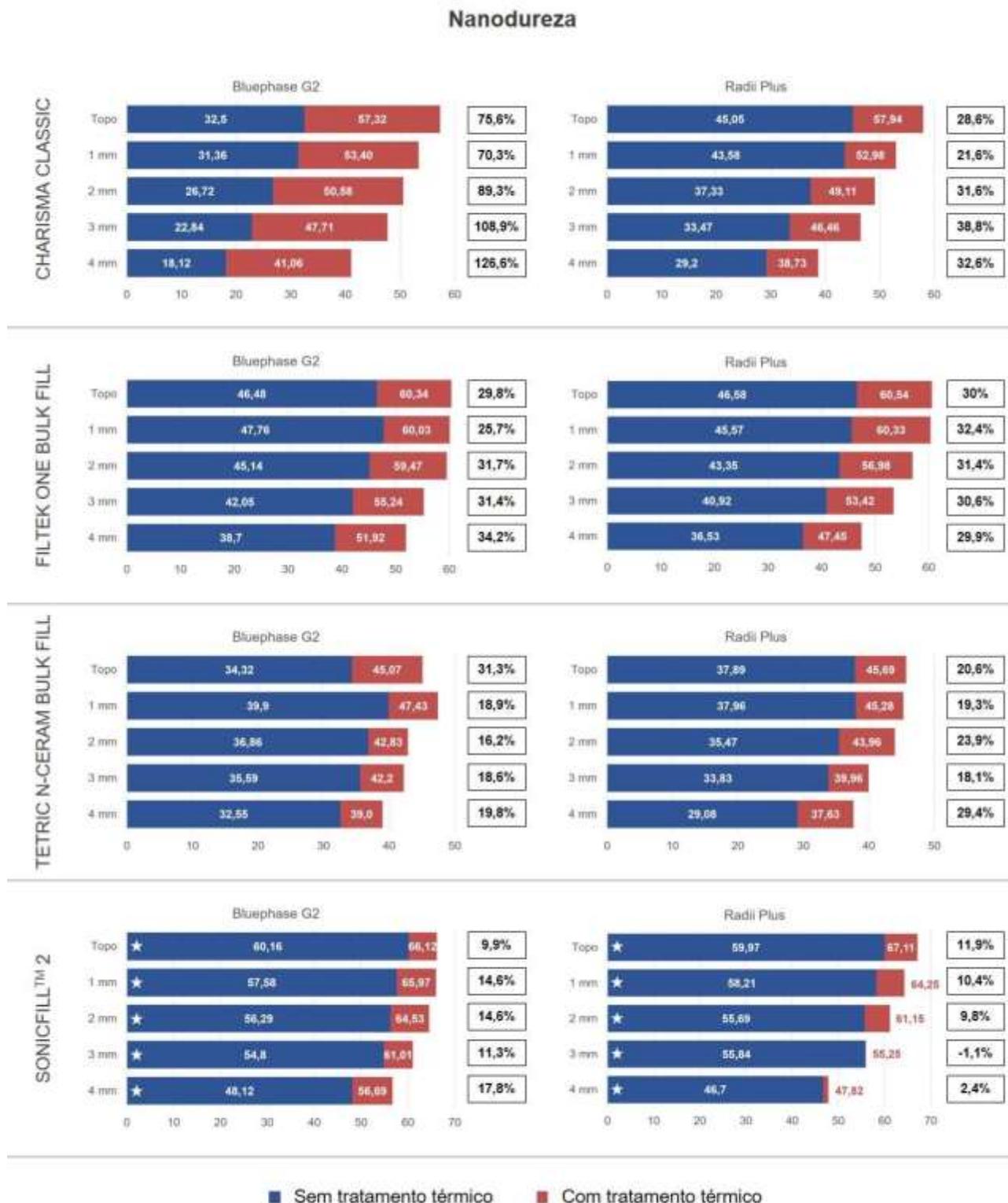
Fonte: O autor.

O tratamento térmico aumentou a nanodureza em todas as profundidades dos materiais testados, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ), exceto para a resina composta SonicFill™ 2 ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.22).

Para resina composta Charisma Classic, o tratamento térmico para ambos fotopolimerizadores compensou a diferença estatística observada na condição sem tratamento térmico entre fotopolimerizadores (Figura 5.22), de tal maneira a nanodureza aumentou 75,6% no topo com o fotopolimerizador Bluephase G2 e 28,6% com o Rarii Plus. No 4 mm, os aumentos foram de 126,6% e 32,6%, respectivamente (Figura 5.22).

Nas condições FO-Blue, e SF-Blue o tratamento térmico levou à homogeneização da nanodureza em profundidade (Figura 5.22).

Figura 5.22 - Médias e desvios-padrões de nanodureza para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p \geq 0,05$ ) dentro de uma mesma profundidade para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico). Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) da nanodureza após tratamento térmico



Fonte: O autor.

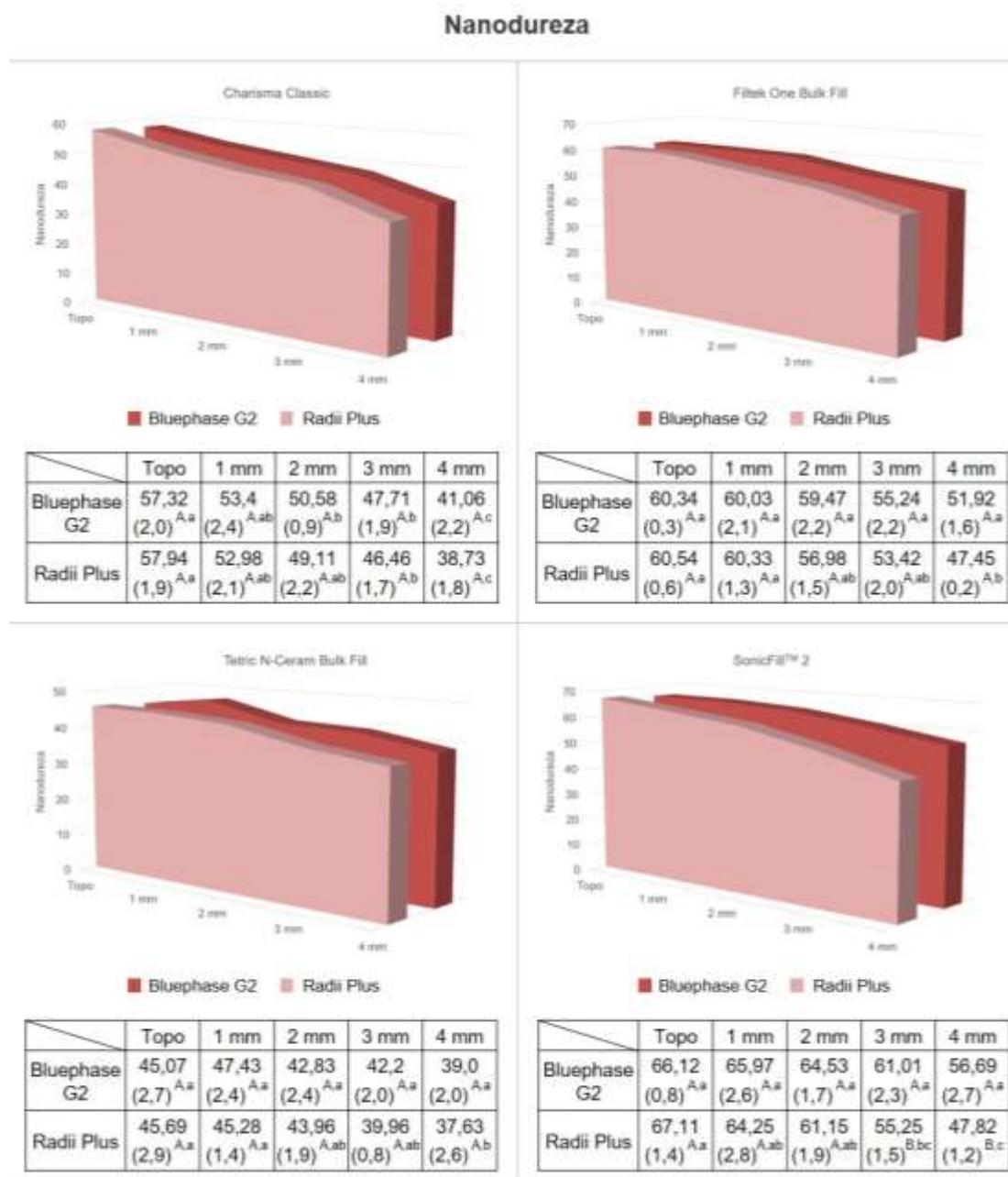
A figura 5.23 dispõe os resultados da nanodureza no topo dos materiais estudados após tratamento térmico.

Figura 5.23 – Médias e desvios-padrões de nanodureza no topo das resinas compostas estudadas em função do fotopolimerizador nas condições sem e com tratamento térmico. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p > 0,05$ ) dentro de um mesmo material para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico)



Conforme mostra a figura 5.24, exceto para o 3 mm e 4 mm da resina composta SF ( $p < 0,05$ ), não houve diferença estatística entre fotopolimerizadores para a condição com tratamento térmico ( $p \geq 0,05$ ).

Figura 5.24 - Médias e desvios-padrões de nanodureza das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material



Fonte: O autor.

Para investigar a influência de todas as variáveis e seus subníveis na nanodureza dos materiais testados, foi realizada a análise de regressão de Poisson (Tabela 5.11). De maneira geral, a resina composta SonicFill™ 2 apresentou o melhor desempenho dentre os materiais, 42% melhor que a Charisma Classic. Ambos fotopolimerizadores performaram de maneira semelhante ( $p=0,727$ ). O tratamento térmico aumentou em média 26% a nanodureza para todos os materiais e uma tendência de diminuição de 6% a cada milímetro foi observada.

Tabela 5.11 – Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para a nanodureza. Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável

Variável	Média	DP	IRR Univariado 95% CI	p-valor	IRR Ajustado 95% CI	p-valor
<b>MATERIAL</b>						
Charisma Classic <sup><math>\epsilon</math></sup>	40,78	11,60				
Filtek One Bulk Fill	49,94	8,32	1,22 (1,15 – 1,29)	<0,001*	1,22 (1,15 – 1,29)	<0,001*
Tetric N-Ceram Bulk Fill	39,12	5,45	0,95 (0,92 – 0,99)	0,046*	0,95 (0,92 – 0,99)	0,046*
SonicFill™ 2	58,12	6,49	1,42 (1,38 – 1,47)	<0,001*	1,42 (1,38 – 1,47)	<0,001*
<b>FOTOPOLIMERIZADOR</b>						
Bluephase G2 <sup><math>\epsilon</math></sup>	46,89	12,25				
Radii Plus	47,08	10,19	1,00 (0,98 – 1,02)	0,727	-	-
<b>CONDIÇÃO DE TRATAMENTO</b>						
Sem tratamento térmico <sup><math>\epsilon</math></sup>	41,18	10,65				
Com tratamento térmico	52,49	8,92	1,26 (1,26 – 1,27)	<0,001*	1,26 (1,26 – 1,27)	<0,001*
<b>PROFUNDIDADE</b>						
Topo <sup><math>\epsilon</math></sup>	51,45	11,10				
1 mm	50,72	10,07				
2 mm	47,79	10,71	0,94 (0,93 – 0,94)	<0,001*	0,94 (0,93 – 0,94)	<0,001*
3 mm	45,03	10,77				
4 mm	39,95	9,92				
<b>TOTAL</b>	46,99	11,25				

Fonte: O autor.

## 5.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para a análise do módulo de elasticidade de cada um dos materiais, foram consideradas as variáveis *material*, *fotopolimerizador* (Bluephase G2 e Radii Plus), *condição de tratamento* (sem tratamento térmico, com tratamento térmico) e *profundidade* (topo, 1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm).

### 5.4.1 Sem tratamento térmico

Os resultados de módulo de elasticidade para os materiais testados na condição sem tratamento térmico para as diferentes profundidades estão dispostos na tabela 5.12.

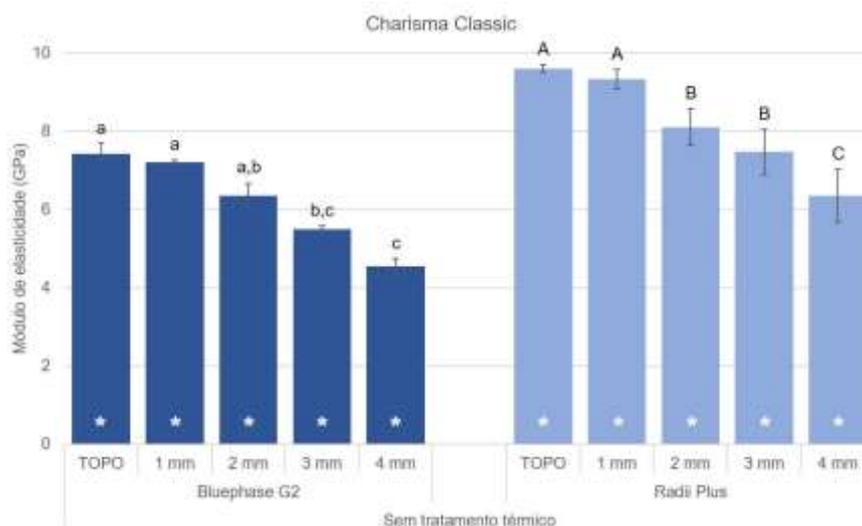
Tabela 5.12 – Médias e desvios-padrões de módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material

Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus	Bluephase G2	Radii Plus
Topo	7,42 (0,26) <sup>B,a</sup>	9,60 (0,10) <sup>A,a</sup>	9,76 (0,10) <sup>A,a</sup>	9,33 (0,40) <sup>A,a</sup>	8,56 (0,22) <sup>A,a</sup>	8,07 (0,34) <sup>A,a</sup>	11,07 (0,41) <sup>A,a</sup>	11,40 (0,32) <sup>A,a</sup>
1	7,20 (0,07) <sup>B,a</sup>	9,33 (0,25) <sup>A,a</sup>	10,16 (0,15) <sup>A,a</sup>	9,72 (0,18) <sup>A,a</sup>	8,91 (0,24) <sup>A,a</sup>	8,29 (0,34) <sup>A,a</sup>	10,76 (0,31) <sup>A,a</sup>	11,34 (0,51) <sup>A,a</sup>
2	6,34 (0,31) <sup>B,ab</sup>	8,10 (0,47) <sup>A,b</sup>	9,73 (0,20) <sup>A,a</sup>	9,43 (0,23) <sup>A,a</sup>	8,48 (0,02) <sup>A,a</sup>	7,95 (0,39) <sup>A,a</sup>	10,61 (0,33) <sup>A,a</sup>	11,16 (0,31) <sup>A,a</sup>
3	5,49 (0,09) <sup>B,bc</sup>	7,47 (0,58) <sup>A,b</sup>	9,10 (0,08) <sup>A,ab</sup>	8,83 (0,14) <sup>A,a</sup>	8,15 (0,13) <sup>A,a</sup>	7,49 (0,24) <sup>A,a</sup>	10,50 (0,32) <sup>A,a</sup>	11,07 (0,46) <sup>A,a</sup>
4	4,54 (0,19) <sup>B,c</sup>	6,34 (0,68) <sup>A,c</sup>	8,39 (0,06) <sup>A,b</sup>	7,79 (0,29) <sup>A,a</sup>	7,65 (0,29) <sup>A,a</sup>	6,64 (0,29) <sup>A,b</sup>	8,98 (0,31) <sup>B,b</sup>	9,94 (0,49) <sup>A,b</sup>

Fonte: O autor.

A resina composta convencional Charisma Classic fotopolimerizada com Bluephase G2 apresentou valores de módulo de elasticidade semelhantes do topo ao 2 mm ( $p \geq 0,05$ ) e uma redução de 38,8% do topo ao 4 mm ( $p < 0,05$ ). Para o fotopolimerizador Rádi Plus, a redução foi de 34%. Para cada profundidade, os valores observados para o Rádi Plus foram estatisticamente maiores em comparação ao Bluephase G2 ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.25).

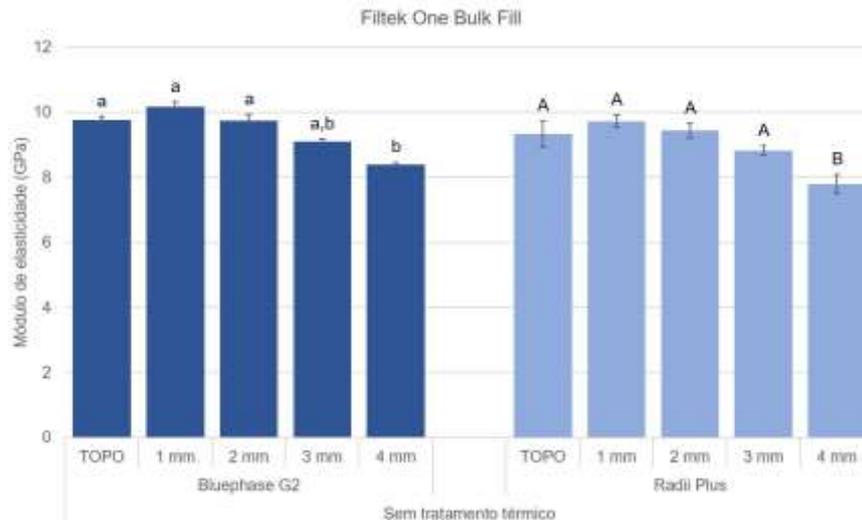
Figura 5.25 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Charisma Classic na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador. Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta Filtek One Bulk Fill apresentou valores de módulo de elasticidade estatisticamente semelhantes em profundidade até o 3 mm para ambos fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ). Uma redução estatisticamente significativa pode ser observada do dos três primeiros milímetros para o 4 mm para ambos fotopolimerizadores (Figura 5.26).

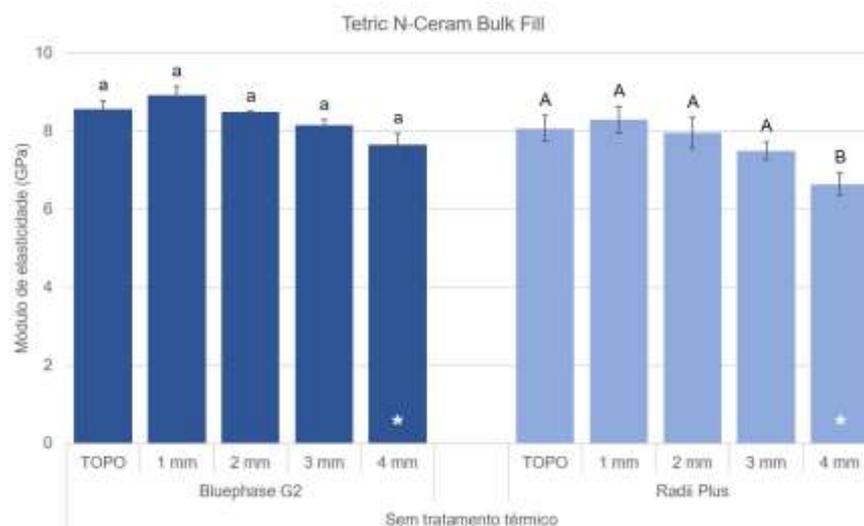
Figura 5.26 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Filtek One Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

Para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill, valores semelhantes de módulo de elasticidade foram observados em profundidade o fotopolimerizador Bluephase G2 ( $p \geq 0,05$ ). Para Radium Plus, valores semelhantes ( $p \geq 0,05$ ) até o 3 mm e uma redução estatisticamente significativa no 4 ( $p < 0,05$ ) mm em relação aos demais foram observadas. O 4 mm para o Bluephase G2 foi significativamente maior em comparação à mesma profundidade com o Radium Plus ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.27).

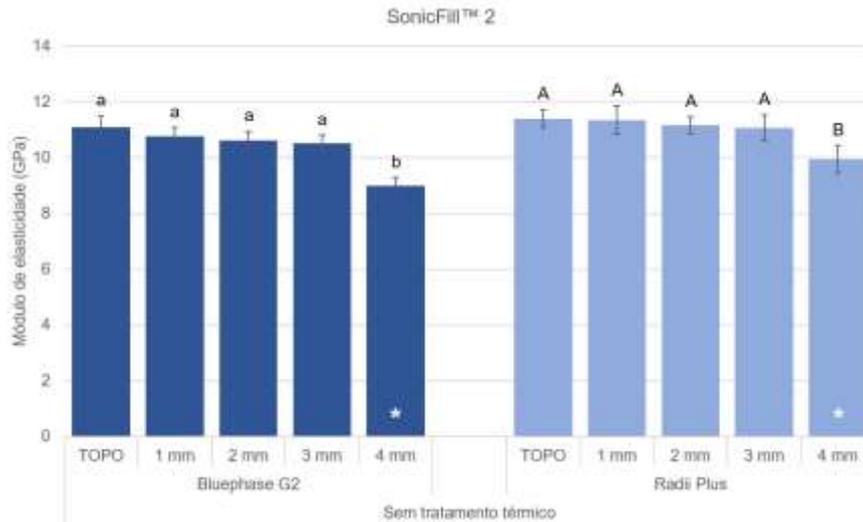
Figura 5.27 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

A resina composta SonicFill™ 2 apresentou valores semelhantes de módulo de elasticidade do 1 mm ao 3 mm ( $p \geq 0,05$ ), com redução significativa no 4 mm ( $p < 0,05$ ) para ambos fotopolimerizadores. Entretanto, o último segmento (4 mm) com Radii Plus foi estatisticamente maior que com Bluephase G2 ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.28).

Figura 5.28 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) da resina composta SonicFill™ 2 na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras distintas indicam diferença estatística quando comparadas profundidades dentro de um mesmo fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Asteriscos (\*) nas bases das barras indicam diferença estatística em uma mesma profundidade quando os dois fotopolimerizadores são comparados ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

#### 5.4.2 Com tratamento térmico

O tratamento térmico aumentou o módulo de elasticidade em todas as profundidades dos materiais testados, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ), exceto para a resina composta SonicFill™ 2 ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.29).

Os resultados de módulo de elasticidade para os materiais testados na condição com tratamento térmico para as diferentes profundidades e fotopolimerizadores estão dispostos nas tabelas 5.13 e 5.14, respectivamente.

Tabela 5.13 – Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material

Bluephase G2								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	7,42 (0,26) <sup>B,a</sup>	12,90 (0,23) <sup>A,a</sup>	9,76 (0,10) <sup>B,a</sup>	13,27 (0,11) <sup>A,a</sup>	8,56 (0,22) <sup>B,a</sup>	10,73 (0,34) <sup>A,a</sup>	11,07 (0,41) <sup>A,a</sup>	12,06 (0,32) <sup>A,a</sup>
1	7,20 (0,07) <sup>B,a</sup>	12,42 (0,18) <sup>A,a</sup>	10,16 (0,15) <sup>B,a</sup>	13,28 (0,15) <sup>A,a</sup>	8,91 (0,24) <sup>B,a</sup>	11,00 (0,23) <sup>A,a</sup>	10,76 (0,31) <sup>A,a</sup>	11,77 (0,10) <sup>A,ab</sup>
2	6,34 (0,31) <sup>B,ab</sup>	11,90 (0,38) <sup>A,ab</sup>	9,73 (0,20) <sup>B,a</sup>	13,09 (0,19) <sup>A,a</sup>	8,48 (0,02) <sup>B,a</sup>	10,62 (0,16) <sup>A,a</sup>	10,61 (0,33) <sup>A,a</sup>	11,41 (0,19) <sup>A,ab</sup>
3	5,49 (0,09) <sup>B,bc</sup>	11,08 (0,28) <sup>A,b</sup>	9,10 (0,08) <sup>B,ab</sup>	12,29 (0,21) <sup>A,a</sup>	8,15 (0,13) <sup>B,a</sup>	10,11 (0,13) <sup>A,ab</sup>	10,50 (0,32) <sup>A,a</sup>	10,64 (0,25) <sup>A,ab</sup>
4	4,54 (0,19) <sup>B,c</sup>	9,75 (0,33) <sup>A,c</sup>	8,39 (0,06) <sup>B,b</sup>	11,66 (0,15) <sup>A,a</sup>	7,65 (0,29) <sup>B,a</sup>	8,98 (0,35) <sup>A,b</sup>	8,98 (0,31) <sup>A,a</sup>	9,99 (0,26) <sup>A,b</sup>

Fonte: O autor.

Tabela 5.14 – Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radium Plus em função da condição de tratamento e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre duas condições de tratamento em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material

Radium Plus								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	9,60 (0,10) <sup>B,a</sup>	12,20 (0,45) <sup>A,a</sup>	9,33 (0,40) <sup>B,a</sup>	12,90 (0,45) <sup>A,a</sup>	8,07 (0,34) <sup>B,a</sup>	10,75 (0,22) <sup>A,a</sup>	11,40 (0,32) <sup>A,a</sup>	12,51 (0,19) <sup>A,a</sup>
1	9,33 (0,25) <sup>B,a</sup>	11,31 (0,35) <sup>A,ab</sup>	9,72 (0,18) <sup>B,a</sup>	12,97 (0,37) <sup>A,a</sup>	8,29 (0,34) <sup>B,a</sup>	10,44 (0,23) <sup>A,a</sup>	11,34 (0,51) <sup>A,a</sup>	12,10 (0,38) <sup>A,ab</sup>
2	8,10 (0,47) <sup>B,b</sup>	10,53 (0,41) <sup>A,b</sup>	9,43 (0,23) <sup>B,a</sup>	12,36 (0,11) <sup>A,a</sup>	7,95 (0,39) <sup>B,a</sup>	10,12 (0,20) <sup>A,ab</sup>	11,16 (0,31) <sup>A,a</sup>	11,97 (0,35) <sup>A,ab</sup>
3	7,47 (0,58) <sup>B,b</sup>	9,91 (0,56) <sup>A,bc</sup>	8,83 (0,14) <sup>B,a</sup>	11,69 (0,47) <sup>A,ab</sup>	7,49 (0,24) <sup>B,a</sup>	9,33 (0,15) <sup>A,b</sup>	11,07 (0,46) <sup>A,a</sup>	11,85 (0,35) <sup>A,ab</sup>
4	6,34 (0,68) <sup>B,c</sup>	8,53 (0,61) <sup>A,c</sup>	7,79 (0,29) <sup>B,b</sup>	10,38 (0,12) <sup>A,b</sup>	6,64 (0,29) <sup>B,b</sup>	8,92 (0,43) <sup>A,b</sup>	9,94 (0,49) <sup>A,b</sup>	10,93 (0,25) <sup>A,b</sup>

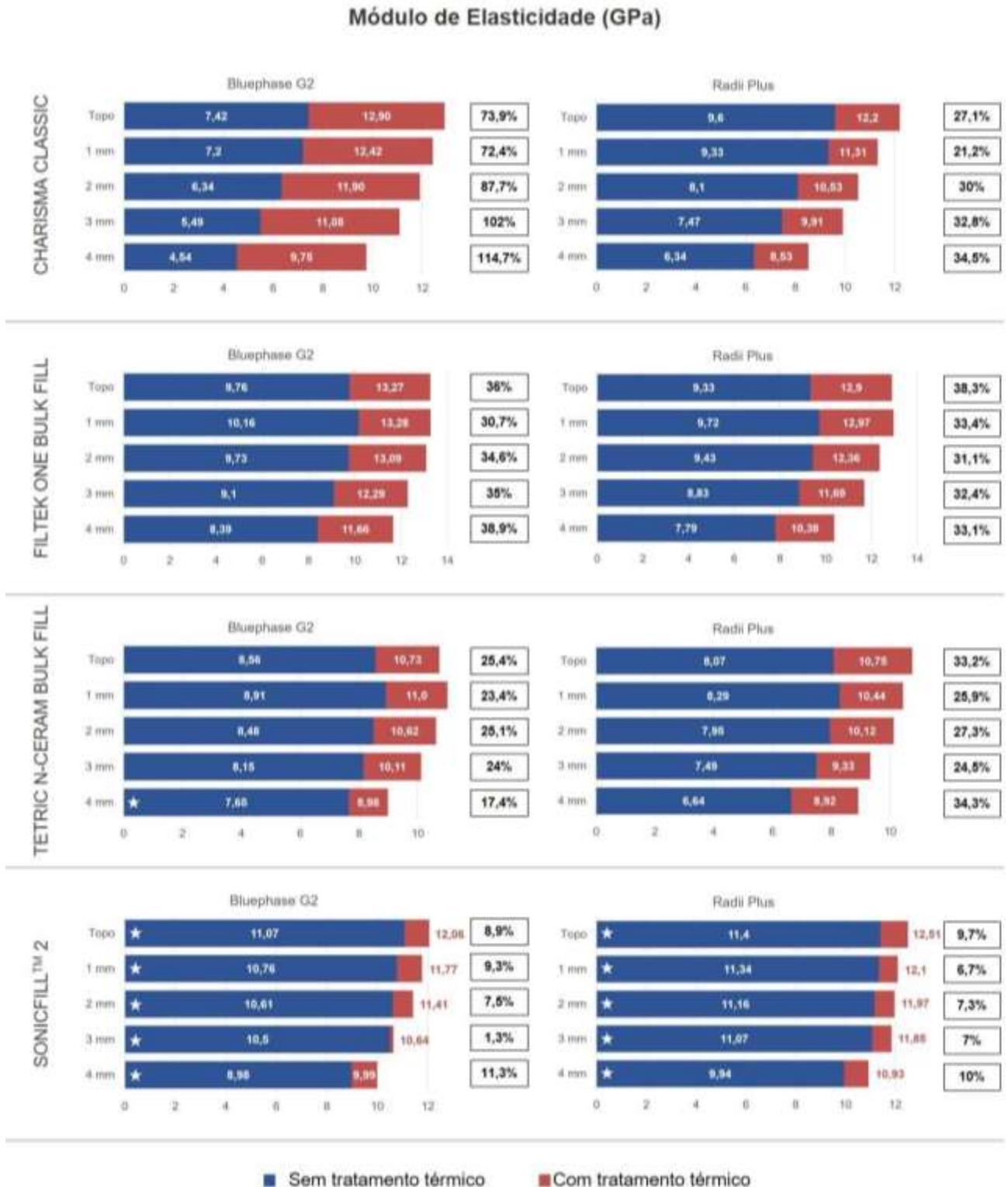
Fonte: O autor.

Para a resina composta Charisma Classic, o tratamento térmico para ambos fotopolimerizadores compensou a diferença estatística observada na condição sem tratamento térmico entre fotopolimerizadores (Figura 5.25), de tal maneira que o módulo de elasticidade aumentou 73,8% no topo com o fotopolimerizador Bluephase G2 e 27% com o Radium Plus. No 4 mm, os aumentos foram de 114,7% e 34,5%, respectivamente (Figura 5.29).

Na resina composta Filtek One Bulk Fill fotopolimerizada com Radium Plus, o tratamento térmico não foi capaz de homogeneizar os valores de módulo de elasticidade em profundidade ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.26). Quando fotopolimerizada com o Bluephase G2, uma homogeneização em profundidade foi observada após tratamento térmico com ambos fotopolimerizadores (Figura 5.29).

Para a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill com Bluephase G2, o módulo de elasticidade entre o 1 e o 4 mm foi estatisticamente diferente, o que não havia sido observado na condição sem tratamento térmico ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.29).

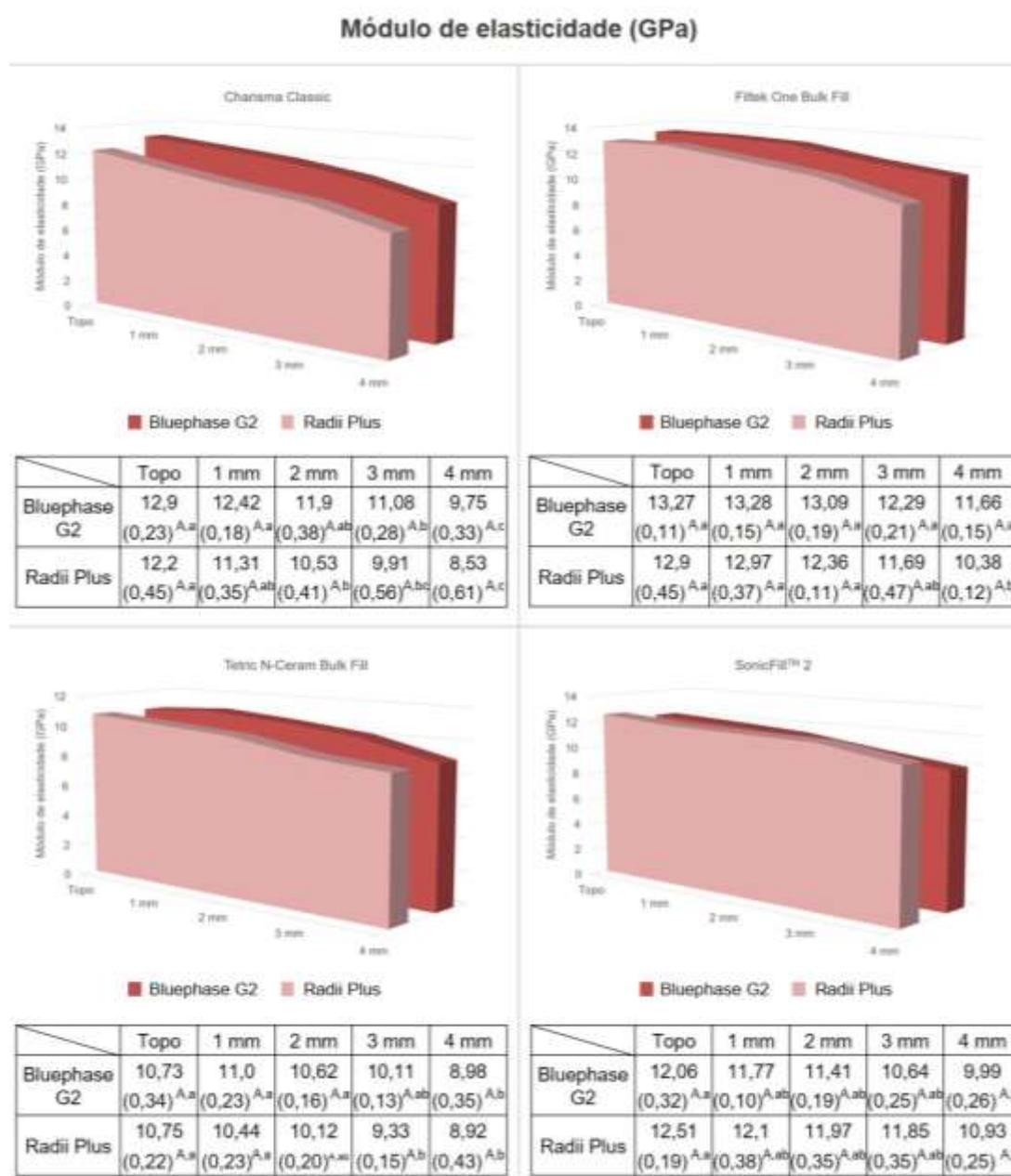
Figura 5.29 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Estrelas (★) na base das barras indicam semelhança estatística ( $p \geq 0,05$ ) dentro de uma mesma profundidade para um mesmo fotopolimerizador entre condições de tratamento (sem e com tratamento térmico). Valores à direita das barras indicam o aumento em porcentagem (%) do módulo de elasticidade após tratamento térmico



Fonte: O autor.

Conforme mostra a figura 5.30, para todas as profundidades, não houve diferença estatística entre fotopolimerizadores para a condição com tratamento térmico ( $p \geq 0,05$ ).

Figura 5.30 - Médias e desvios-padrões do módulo de elasticidade (GPa) das resinas compostas após tratamento térmico em função do fotopolimerizador e da profundidade. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre os dois fotopolimerizadores em uma mesma profundidade para um mesmo material. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre profundidades de um mesmo fotopolimerizador para um mesmo material



Fonte: O autor.

Para investigar a influência de todas as variáveis e seus subníveis no módulo de elasticidade dos materiais testados, foi realizada a análise de regressão de Poisson (Tabela 5.15). De maneira geral, a resina composta SonicFill™ 2 apresentou o melhor desempenho dentre os materiais, 21% superior à resina composta Charisma Classic. Ambos fotopolimerizadores performaram de maneira semelhante ( $p=0,936$ ). O tratamento térmico aumentou em média 28% o módulo de elasticidade para todos os materiais e uma tendência de diminuição de 6% a cada milímetro foi observada.

Tabela 5.15 – Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para o módulo de elasticidade (GPa). Letra Epsilon ( $\epsilon$ ) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável

Variável	Média (GPa)	DP	IRR Univariado 95% CI	p-valor	IRR Ajustado 95% CI	p-valor
<b>MATERIAL</b>						
Charisma Classic $\epsilon$	9,11	2,44				
Filtek One Bulk Fill	10,80	1,85	1,18 (1,10 – 1,27)	<0,001*	1,18 (1,10 – 1,27)	<0,001*
Tetric N-Ceram Bulk Fill	9,05	1,33	0,99 (0,94 – 1,04)	0,812	0,99 (0,94 – 1,04)	9,812
SonicFill™ 2	11,10	0,94	1,21 (0,18 – 1,25)	<0,001*	1,21 (1,18 – 1,25)	<0,001*
<b>FOTOPOLIMERIZADOR</b>						
Bluephase G2 $\epsilon$	10,01	2,13				
Radii Plus	10,02	1,79	1,00 (0,98 – 1,01)	0,936	-	-
<b>CONDIÇÃO DE TRATAMENTO</b>						
Sem tratamento térmico $\epsilon$	8,77	1,69				
Com tratamento térmico	11,26	1,33	1,28 (1,25 – 1,30)	<0,001*	1,28 (1,25 – 1,30)	<0,001*
<b>PROFUNDIDADE</b>						
Topo $\epsilon$	10,78	1,84				
1 mm	10,68	1,72				
2 mm	10,23	1,85	0,94 (0,94 – 0,95)	<0,001*	0,94 (0,94 – 0,95)	<0,001*
3 mm	9,68	1,87				
4 mm	8,71	1,85				
<b>TOTAL</b>	10,02	1,97				

Fonte: O autor.

## 5.5 RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL

Para a análise da resistência à flexão, foram consideradas as variáveis *material*, *fotopolimerizador* (Bluephase G2 e Ratii Plus) e *condição de tratamento* (sem tratamento térmico, com tratamento térmico).

### 5.5.1 Sem tratamento térmico

Os resultados de resistência à flexão para os materiais testados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador estão dispostos na tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas na condição fotoativada (sem tratamento térmico) em função do fotopolimerizador. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) na comparação entre todos os materiais considerando ambos fotopolimerizadores. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre fotopolimerizadores em um mesmo material

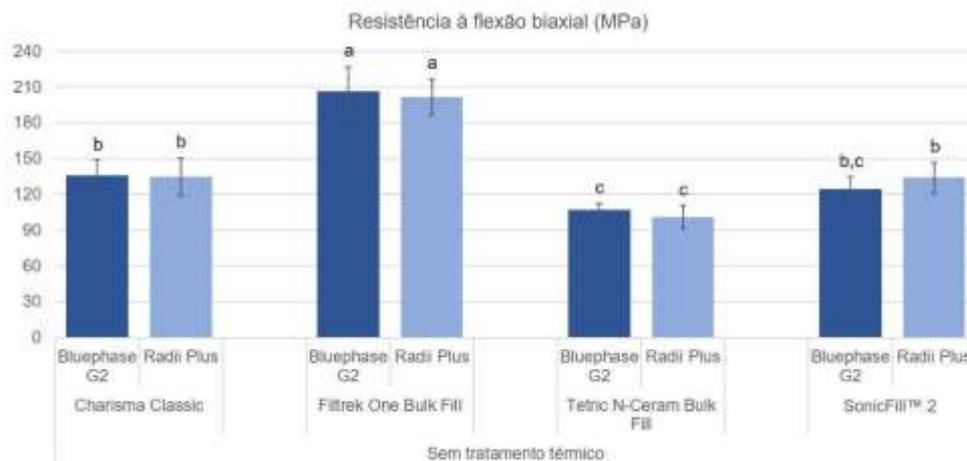
Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Bluephase G2	Ratii Plus	Bluephase G2	Ratii Plus	Bluephase G2	Ratii Plus	Bluephase G2	Ratii Plus
136,0 (13,0) <sup>B,a</sup>	134,6 (15,9) <sup>B,a</sup>	206,4 (20,7) <sup>A,a</sup>	201,5 (15,0) <sup>A,a</sup>	106,9 (5,4) <sup>C,a</sup>	100,7 (9,6) <sup>C,a</sup>	124,6 (9,8) <sup>BC,a</sup>	133,8 (12,8) <sup>B,a</sup>

Fonte: O autor.

Quando comparado cada material, não foram observadas diferenças estatisticamente diferentes entre ambos fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.31).

Os maiores valores de resistência à flexão foram observados para a resina composta Filtek One Bulk Fill, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). Charisma Classic e SonicFill™ 2 com ambos fotopolimerizadores apresentaram valores semelhantes e intermediários de resistência à flexão biaxial ( $p \geq 0,05$ ). A resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill apresentou os menores valores de resistência ( $p < 0,05$ ), também semelhantes à resina composta SonicFill™ 2 fotopolimerizada com Bluephase G2 ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.31).

Figura 5.31 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras iguais indicam semelhança estatística quando comparados materiais, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ )



Fonte: O autor.

### 5.5.2 Com tratamento térmico

Os resultados de resistência à flexão para os materiais testados na condição com tratamento térmico para os fotopolimerizadores Bluephase G2 e Rádi Plus estão dispostos nas tabelas 5.17 e 5.18, respectivamente.

Tabela 5.17 – Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Bluephase G2 em função da condição de tratamento. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre diferentes condições de tratamento em um mesmo material

Bluephase G2							
Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
136,0 (13,0) <sup>b</sup>	197,5 (9,7) <sup>a</sup>	206,4 (20,7) <sup>b</sup>	232,0 (16,8) <sup>a</sup>	106,9 (5,4) <sup>b</sup>	138,8 (4,3) <sup>a</sup>	124,6 (9,8) <sup>b</sup>	140,8 (11,7) <sup>a</sup>

Fonte: O autor.

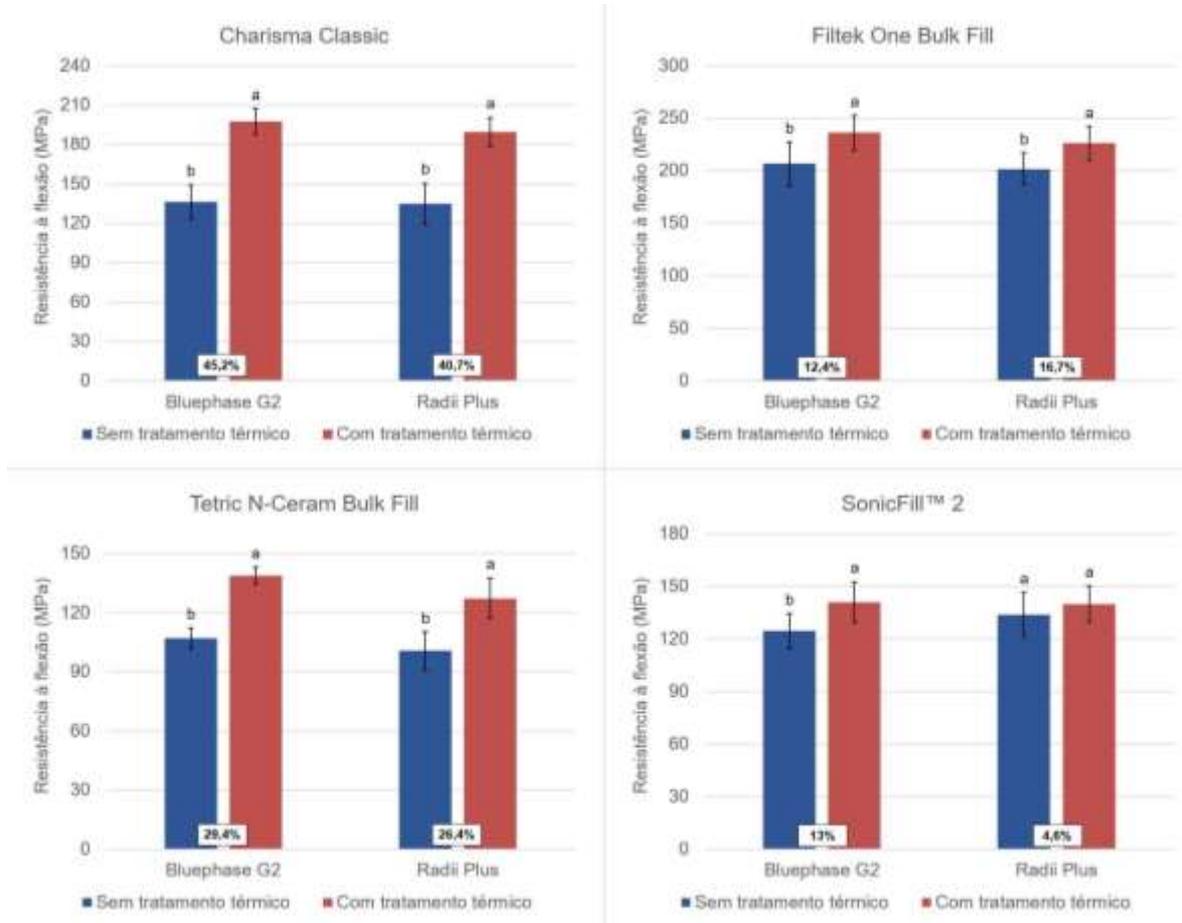
Tabela 5.18 – Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) das resinas compostas estudadas fotoativadas com fotopolimerizador Radium Plus em função da condição de tratamento. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre diferentes condições de tratamento em um mesmo material

Radium Plus							
Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
134,6 (15,9) <sup>b</sup>	189,5 (10,8) <sup>a</sup>	201,5 (15,0) <sup>b</sup>	235,2 (16,0) <sup>a</sup>	100,7 (9,6) <sup>b</sup>	127,2 (10,3) <sup>a</sup>	133,8 (12,8) <sup>a</sup>	139,9 (10,4) <sup>a</sup>

Fonte: O autor.

O tratamento térmico aumentou a resistência à flexão biaxial para ambos fotopolimerizadores em todos os materiais ( $p < 0,05$ ), exceto para a resina composta SonicFill™ 2 fotopolimerizada com Radium Plus ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.32).

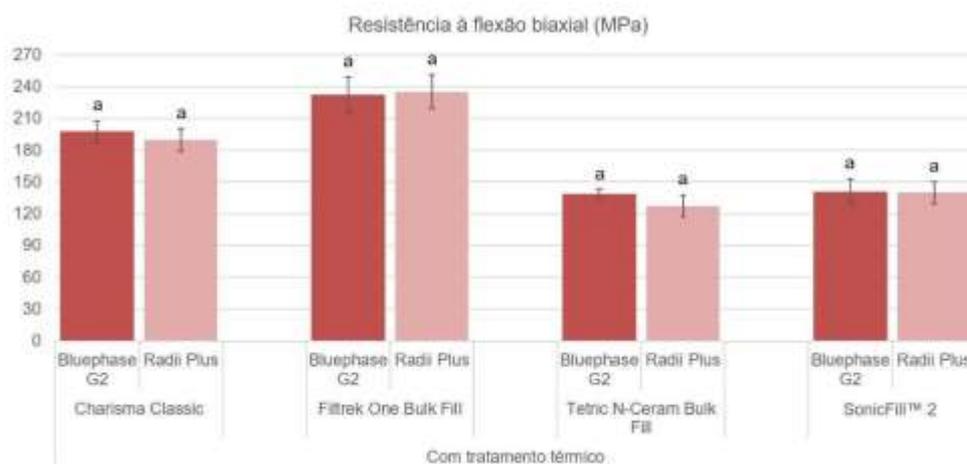
Figura 5.32 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) para as resinas compostas estudadas nas condições sem e com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre condições de tratamento dentro de um mesmo fotopolimerizador. Valores entre as barras na base do gráfico indicam o aumento em % da resistência à flexão biaxial após tratamento térmico



Fonte: O autor.

Quando comparados todos os materiais na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador, é possível observar que não há diferença entre fotopolimerizadores para cada material ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.33).

Figura 5.33 - Médias e desvios-padrões de resistência à flexão biaxial (MPa) dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Letras iguais indicam semelhança estatística entre fotopolimerizadores para um mesmo material ( $p \geq 0,05$ )



Fonte: O autor.

Para investigar a influência de todas as variáveis na resistência à flexão biaxial dos materiais testados, foi realizada a análise de regressão de Poisson (Tabela 5.19). De maneira geral, a resina composta Filtek One Bulk Fill apresentou o melhor desempenho dentre os materiais, 33% melhor que a Charisma Classic. Ambos fotopolimerizadores performaram de maneira semelhante ( $p=0,155$ ) e o tratamento térmico aumentou em média 22% a resistência à flexão.

Tabela 5.19 – Análise de Regressão de Poisson univariada e ajustada para as diferentes variáveis para a resistência à flexão biaxial(MPa). Letra Epsilon (ε) sobrescrita indica o parâmetro de referência dentro de uma variável

Variável	Média (MPa)	DP	IRR Univariado 95% CI	p-valor	IRR Ajustado 95% CI	p-valor
<b>MATERIAL</b>						
Charisma Classic <sup>ε</sup>	164,45	31,98				
Filtek One Bulk Fill	218,82	22,50	1,33 (1,29 – 1,37)	<0,001*	1,33 (1,29 – 1,37)	<0,001*
Tetric N-Ceram Bulk Fill	134,83	12,65	0,81 (0,79 – 0,84)	<0,001*	0,81 (0,79 – 0,85)	<0,001*
SonicFill™ 2	118,45	17,27	0,72 (0,69 – 0,74)	<0,001*	0,72 (0,69 – 0,74)	<0,001*
<b>FOTOPOLIMERIZADOR</b>						
Bluephase G2 <sup>ε</sup>	160,44	44,07				
Radii Plus	157,84	44,61	0,98 (0,96 – 1,01)	0,155	0,98 (0,96 – 1,01)	0,155
<b>CONDIÇÃO DE TRATAMENTO</b>						
Sem tratamento térmico <sup>ε</sup>	143,12	39,61				
Com tratamento térmico	175,16	42,98	1,22 (0,19 – 1,25)	<0,001*	1,22 (1,19 – 1,25)	<0,001*
<b>TOTAL</b>	159,14	44,22				

Fonte: O autor.

## 5.6 PROFUNDIDADE DE CURA

A avaliação da profundidade de cura foi obtida a partir de duas propriedades dos materiais: grau de conversão e nanodureza. Foram consideradas as variáveis *fotopolimerizador* e *condição de tratamento*.

### 5.6.1 Sem tratamento térmico

As relações para cada profundidade em relação à profundidade 1 mm por grau de conversão para Bluephase G2 e Radii Plus estão dispostas nas tabelas 5.20 e 5.21, respectivamente. A figura 5.34 dispõe a profundidade de cura por grau de conversão dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Todas as resinas compostas *bulk-fill* apresentaram profundidade de cura de 4 mm, independentemente do fotopolimerizador. A resina composta Charisma Classic apresentou profundidade de cura de 3 mm para ambos fotopolimerizadores.

Tabela 5.20 – Relação profundidade/topo por grau de conversão para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Bluephase G2

Bluephase G2								
Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,95	0,98	0,93	1,00	1,07	1,01	0,99	1,00
3	0,88	0,93	0,89	0,97	0,99	0,99	0,95	0,96
4	0,65	0,80	0,85	0,95	0,95	0,97	0,87	0,88

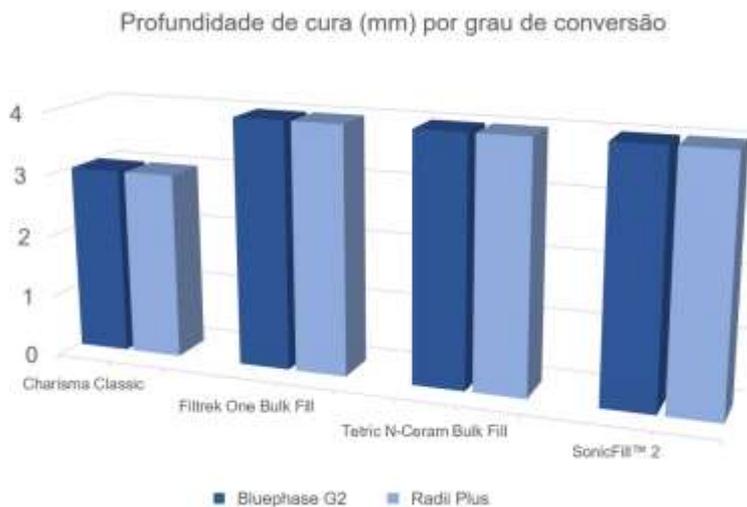
Fonte: O autor.

Tabela 5.21 – Relação profundidade/topo por grau de conversão para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Radium Plus

Radium Plus								
	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
Prof. (mm)	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,88	0,95	0,95	0,98	0,87	0,97	0,97	0,98
3	0,81	0,89	0,89	0,95	1,01	0,98	0,93	0,92
4	0,68	0,78	0,91	0,92	0,96	0,95	0,81	0,81

Fonte: O autor.

Figura 5.34 – Profundidade de cura por (mm) grau de conversão dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador



Fonte: O autor.

Quando avaliada a profundidade de cura por nanodureza na condição sem tratamento térmico, apenas as resinas compostas *bulk-fill* fotopolimerizadas com Bluephase G2 apresentaram profundidade de cura de 4 mm. As tabelas 5.22 e 5.23 dispõem as relações para cada profundidade em relação à profundidade topo por nanodureza para Bluephase G2 e Radium Plus,

respectivamente. Quando fotopolimerizadas com Ralii Plus, as resinas compostas *bulk-fill* apresentaram profundidade de cura de 3 mm. A resina composta Charisma Classic apresentou profundidade de cura de 2 mm, independentemente do fotopolimerizador (Figura 5.35).

Tabela 5.22 – Relação profundidade/topo por nanodureza para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Bluephase G2

Bluephase G2								
Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,96	0,93	1,03	1,00	1,16	1,05	0,96	1,00
2	0,82	0,88	0,97	0,99	1,07	0,95	0,94	0,98
3	0,70	0,83	0,90	0,91	1,03	0,93	0,91	0,93
4	0,55	0,71	0,83	0,86	0,95	0,86	0,80	0,86

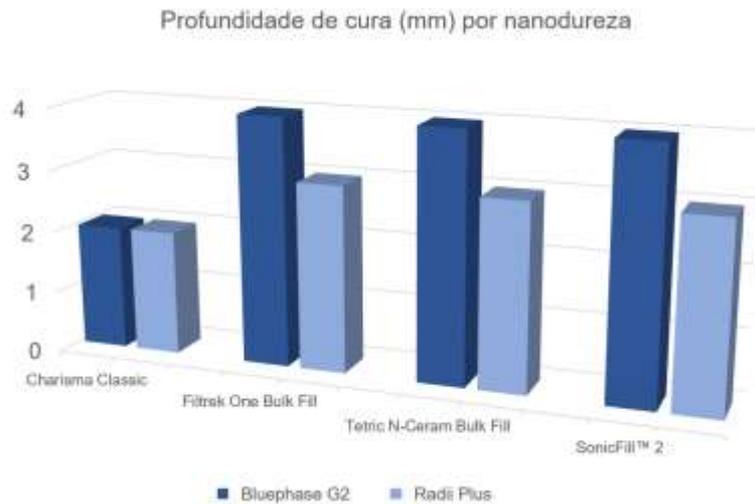
Fonte: O autor.

Tabela 5.23 – Relação profundidade/topo por nanodureza para as diferentes profundidades dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico para o fotopolimerizador Ralii Plus

Ralii Plus								
Prof. (mm)	Charisma Classic		Filtek One Bulk Fill		Tetric N-Ceram Bulk Fill		SonicFill™ 2	
	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico	Sem tratamento térmico	Com tratamento térmico
Topo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,97	0,90	0,98	1,00	1,00	1,00	0,97	0,95
2	0,83	0,84	0,93	0,94	0,94	0,96	0,92	0,91
3	0,74	0,80	0,88	0,88	0,89	0,88	0,93	0,82
4	0,64	0,68	0,78	0,78	0,77	0,82	0,77	0,71

Fonte: O autor.

Figura 5.35 – Profundidade de cura (mm) por nanodureza dos materiais estudados na condição sem tratamento térmico em função do fotopolimerizador

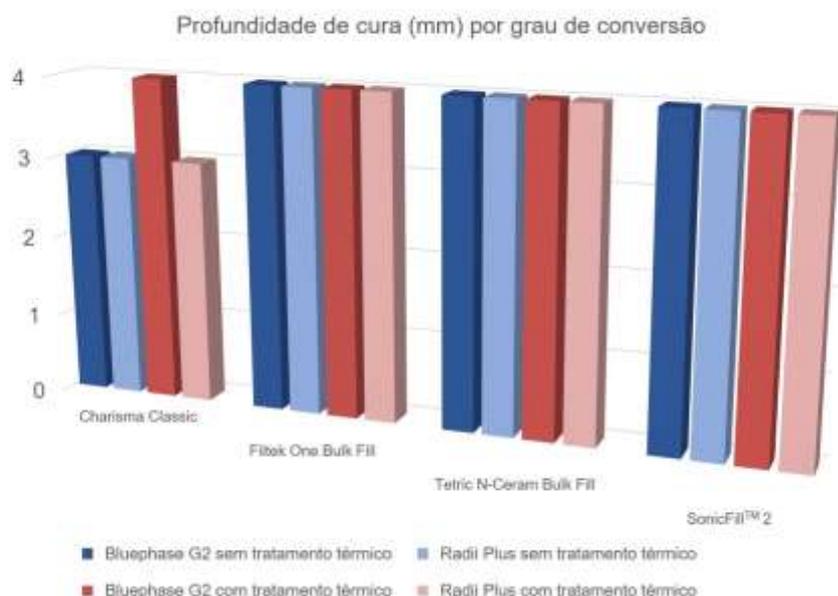


Fonte: O autor.

### 5.6.2 Com tratamento térmico

A figura 5.36 dispõe a profundidade de cura por grau de conversão dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador. Todas as resinas compostas *bulk-fill* apresentaram profundidade de cura de 4 mm, independentemente do fotopolimerizador. A resina composta Charisma Classic alcançou profundidade de cura de 4 mm após tratamento térmico quando fotoativada com Bluephase G2.

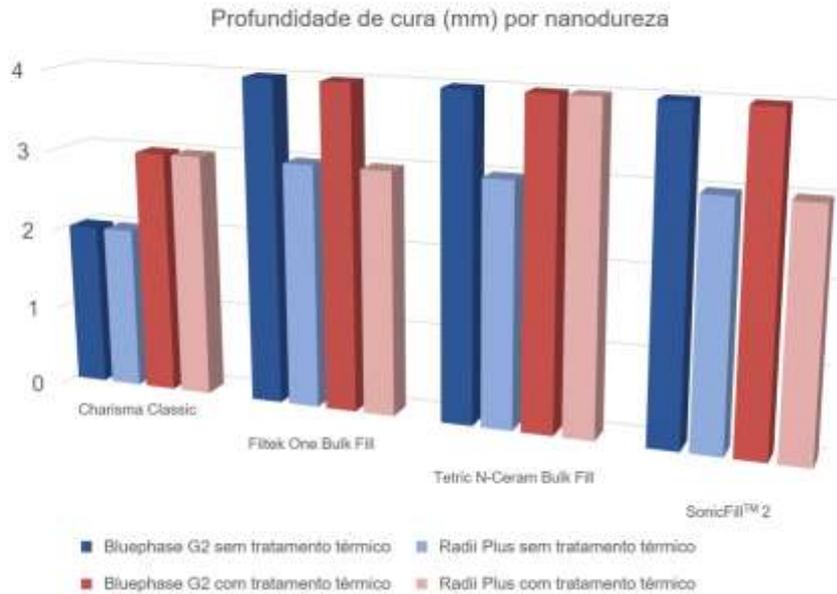
Figura 5.36 – Profundidade de cura (mm) por grau de conversão dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador



Fonte: O autor.

Quando avaliada a profundidade de cura por nanodureza após tratamento térmico, as resinas compostas Filtek One Bulk Fill e SonicFill™ 2 fotopolimerizadas com Radium Plus mantiveram a profundidade da condição sem tratamento térmico. A resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill fotopolimerizada com Radium Plus alcançou profundidade de cura de 4 mm (Figura 5.37).

Figura 5.37 – Profundidade de cura (mm) por nanodureza dos materiais estudados na condição com tratamento térmico em função do fotopolimerizador



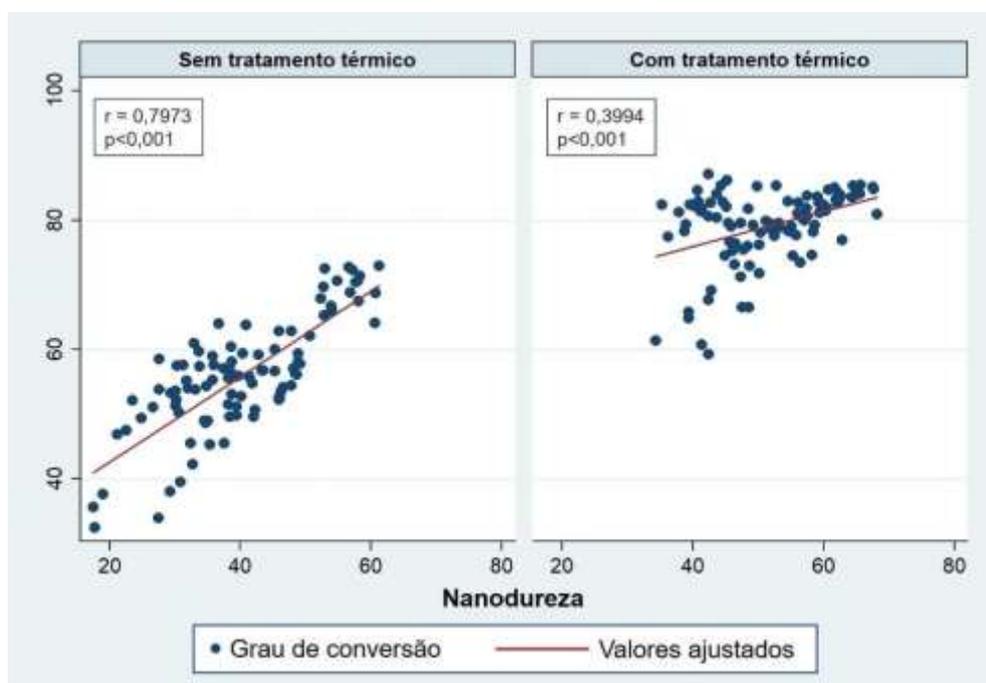
Fonte: O autor.

## 5.7 CORRELAÇÕES

Foram realizadas as análises de correlação de Pearson entre grau de conversão e nanodureza, grau de conversão e módulo de elasticidade, e nanodureza e módulo de elasticidade nas diferentes condições de tratamento (sem tratamento térmico e com tratamento térmico).

Conforme mostra a figura 5.38, houve correlação significativa entre grau de conversão e nanodureza ( $p < 0,001$ ) em ambas condições de tratamento. Para a condição sem tratamento térmico, uma forte correlação foi estabelecida ( $r = 0,7973$ ). Na condição com tratamento térmico, uma fraca correlação foi observada ( $r = 0,3994$ ).

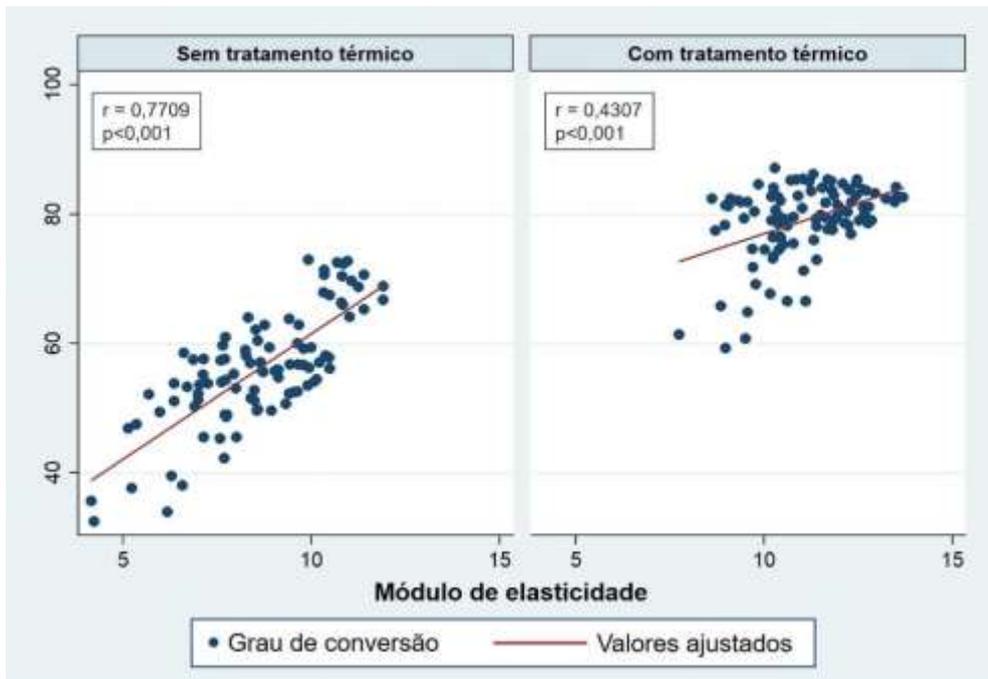
Figura 5.38 – Análise de correlação de Pearson entre grau de conversão e nanodureza



Fonte: O autor.

Entre as variáveis grau de conversão e módulo de elasticidade, uma forte correlação ( $r=0,7709$ ;  $p<0,001$ ) foi observada na condição sem tratamento térmico. Para a condição com tratamento térmico, a correlação estabelecida foi significativa, porém fraca ( $r=0,4307$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 5.39).

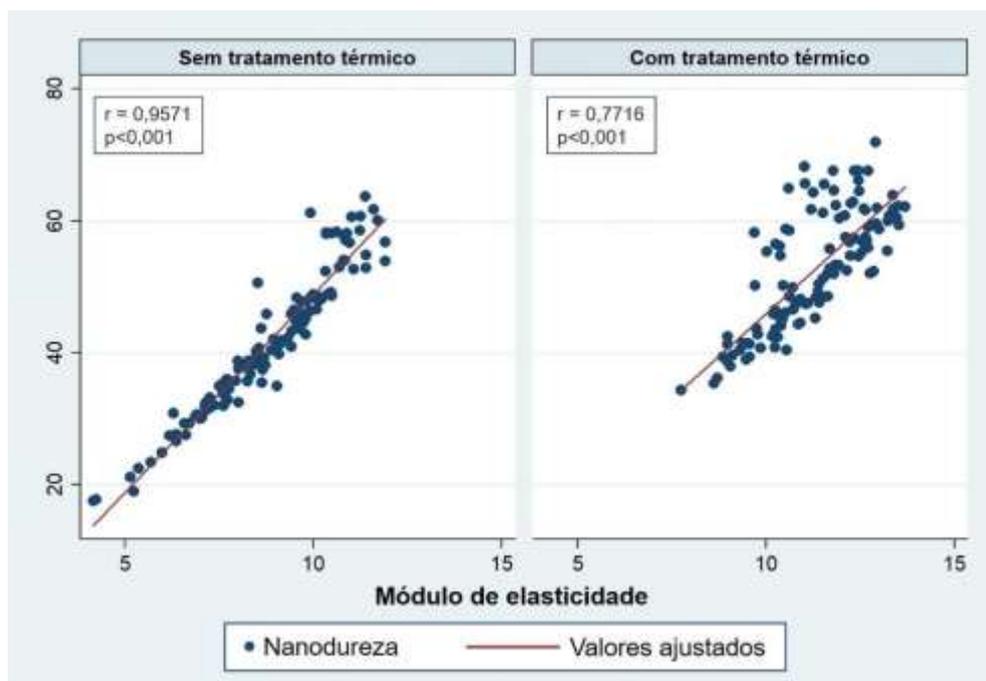
Figura 5.39 – Análise de correlação de Pearson entre grau de conversão e módulo de elasticidade



Fonte: O autor.

Uma significativa e forte correlação entre as variáveis nanodureza e módulo de elasticidade foi observada para a condição sem tratamento térmico ( $r=0,9571$ ;  $p<0,001$ ). Após tratamento térmico, esta correlação diminuiu, mas ainda assim pode ser considerada como forte ( $r=0,7716$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 5.40).

Figura 5.40 – Análise de correlação de Pearson entre nanodureza e módulo de elasticidade



Fonte: O autor.



## 6 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes resinas compostas, dentre elas três do tipo *bulk-fill*, em função de diferentes fotopolimerizadores (Bluephase G2 e Radii Plus) em duas condições de cura (sem tratamento térmico e com tratamento térmico).

Com o objetivo de padronizar a dose de energia e eliminar as variáveis relacionadas ao posicionamento e à manipulação do fotopolimerizador pelo operador<sup>72</sup>, espaçadores que encaixavam perfeitamente à ponta dos aparelhos foram utilizados (Figura 4.1). Além disso, a irradiância emitida por ambas unidades fotoativadoras foi verificada a fim de que o tempo de fotoativação fosse o suficiente para que uma dose padrão de 20J/cm<sup>2</sup> fosse aplicada, valor este baseado na recomendação da literatura<sup>33,58,138</sup> de 14 a 20 J/cm<sup>2</sup>.

Para facilitar a discussão, as menções aos resultados serão por vezes feitas através da interação das variáveis para os diferentes testes baseadas nas siglas dos quadros 4.1 e 4.2. Para as condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico serão utilizadas as siglas ST e TT, respectivamente. Dessa forma, por exemplo, o grau de conversão do segundo milímetro da resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill fotopolimerizada com o Bluephase G2 na condição sem tratamento térmico será mencionado como GC<sub>2mm</sub> TEC-Blue-ST.

### 6.1 GRAU DE CONVERSÃO

Todos os materiais, exceto TEC, independentemente do fotopolimerizador apresentaram diminuição do grau de conversão em profundidade ( $p < 0,05$ ). Quando consideradas as variáveis *material* e *fotopolimerizador* na condição sem tratamento térmico, apenas o 2 mm do compósito TEC e o 4 mm do compósito SF apresentaram diferenças

estatisticamente significantes entre fotopolimerizadores ( $p < 0,05$ ) (Figuras 5.3 e 5.4).

Uma das metodologias mais utilizadas para a avaliação do GC é a espectroscopia no infra-vermelho próximo com transformada de Fourier (FTIR)<sup>25,151-154,161</sup>. Entretanto, uma limitação desta técnica é a espessura máxima do corpo de prova, geralmente empregada entre 0,8<sup>151,152</sup> e 1,0 mm<sup>25,153,154</sup> e que inviabiliza a leitura de espécimes na espessura de recomendação de uso de resinas compostas *bulk-fill*. Neste sentido, a metodologia empregada no presente estudo para a avaliação do GC em profundidade baseou-se no trabalho de Gonçalves et al., onde a recomendação de uso de resinas compostas *bulk-fill* foi simulada através de incrementos de 1,0 mm interpostos por tiras de poliéster<sup>154</sup> Figura 4.3.

O grau de conversão é a propriedade chave na avaliação da efetividade da polimerização de resinas compostas<sup>24,35</sup>. Idealmente, durante a reação de polimerização, todos os monômeros em uma resina composta deveriam ser convertidos em polímero<sup>35,131</sup>. Entretanto diversos fatores podem limitar o grau de conversão em resinas compostas, dentre eles a natureza orgânica do material<sup>44</sup>, o sistema fotoiniciador<sup>35</sup>, além da fonte<sup>139</sup> e da densidade de luz<sup>131</sup>. Dos quatro materiais avaliados no presente estudo, um se destaca quanto ao seu sistema fotoiniciador. Segundo o fabricante, para garantir a utilização em incrementos de até 4 mm, a resina composta Tetric N-Ceram Bulk Fill contém o Ivocerin<sup>®</sup> além da canforoquinona, que possui faixa de absorvância entre 400 e 500 nm<sup>67,135</sup>. Por este motivo, um fotopolimerizador *polywave*, o Bluephase G2, foi incluído no presente estudo. Além disso, um fotopolimerizador *monowave*, com emissão de luz azul entre 440 e 480 nm<sup>136</sup>, capaz de sensibilizar a canforoquinona foi considerado como parte da variável *fotopolimerizador*.

Para ambos fotopolimerizadores, uma redução de 32,4 a 35,3% no grau de conversão em profundidade foi observada para a resina composta CC (Figura 5.1), o que já era esperado dada a indicação de uso deste compósito em incrementos de até 2 mm de espessura. Apesar de valores constantes do 1 mm ao 3 mm na condição CC-Blue-ST, a condição CC-Radii-ST apresentou

uma redução no GC do 1 mm para o 2 mm. Embora indesejado, tal achado pode ser justificado pela baixa translucidez desse material (Figura 5.11). Uma justificativa para os diferentes padrões de conversão em profundidade seria as diferentes irradiâncias emitidas pelos fotopolimerizadores. Maiores irradiâncias podem elevar a temperatura da reação exotérmica durante a reação de polimerização e conseqüentemente levar ao aumento da mobilidade e agitação monomérica<sup>162</sup>, o que pode aumentar o grau de conversão<sup>162,163</sup>.

A resina composta TEC foi a única dentre as resinas compostas *bulk-fill* a apresentar GC constante em profundidade para ambos fotopolimerizadores, o que pode ter sido influenciado pela sua alta translucidez observada no presente estudo (Figura 5.11). Entretanto, um achado interessante foi o fato de que o GC<sub>2mm</sub> na condição TEC-Blue-ST foi estatisticamente maior que a mesma profundidade na condição TEC-Radii-ST ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.3). Achados como esse já foram reportados na literatura<sup>69,139</sup> e uma possível explicação seria a associação de alguns eventos. O primeiro deles é que o Ivocerin<sup>®</sup> pode ter favorecido a conversão deste segmento na condição Blue-ST devido à emissão de luz violeta pelo fotopolimerizador Bluephase G2<sup>164</sup>. Segundo, AlQahtani et al. justificam tal achado pelo fato de que o segmento abaixo da superfície, no caso o 2 mm, recebe quase toda a energia entregue pelo fotopolimerizador e se beneficia pela exotermia da reação de polimerização ao seu redor<sup>139</sup>, que no caso do Bluephase G2 é maior devido à maior irradiância<sup>162</sup>. Besegato et al. também relatam que a alta densidade de energia no topo da restauração pode acelerar a taxa de polimerização na superfície diretamente irradiada por luz, o que levaria à vitrificação precoce da superfície com mobilidade limitada de espécies reativas neste segmento<sup>69</sup>.

Devido à composição das resinas compostas, em especial à presença de pigmentos<sup>123</sup> e à fração inorgânica<sup>34,127,129</sup>, à medida que a espessura do material aumenta, uma menor quantidade de fótons de luz está disponível para sensibilizar sistemas iniciadores da reação de polimerização<sup>69,124,139</sup>. Bucuta e Ilie avaliaram a densidade de energia na base de espécimes de diferentes compósitos, tanto convencionais quanto *bulk-fill*, em diferentes espessuras e mostraram que para resinas compostas *bulk-fill*, a densidade na base de espécimes de 4 mm pode variar de 0,4 a 6,2 J/cm<sup>2</sup>, enquanto que para resinas

compostas convencionais, os valores variaram de 0,0 a 0,7 J/cm<sup>2</sup>. Assim, os autores concluem que resinas compostas *bulk-fill* são mais translúcidas à luz azul em comparação às convencionais<sup>50</sup>. Dessa maneira, o GC<sub>4mm</sub> é uma ferramenta importante na avaliação da maneira como o material transmite luz em profundidade<sup>35</sup>.

O presente estudo mostrou que para a resina composta FO, o aparelho fotopolimerizador exerceu influência no GC em profundidade (Figura 5.2). Na condição FO-Blue-ST, uma diminuição estatisticamente significativa no GC foi observada do 1 mm para o 4 mm ( $p < 0,05$ ), o que não aconteceu na condição FO-Radii-ST. A explicação que fundamenta este achado é que apesar de ambas condições terem recebido uma mesma dose de luz, o cálculo da dose não leva em consideração o fato de que materiais à base de canforoquinona e outros sistemas iniciadores sensibilizados por luz azul não recebem energia suficiente em comparação a fotopolimerizadores que emitem exclusivamente luz no comprimento do azul<sup>75</sup>. Issa et al. sugerem que embora um fotopolimerizador LED convencional (*monowave*) possa ser usado para fotopolimerizar uma resina composta à base de fotoiniciador dependente de luz violeta, um fotopolimerizador *polywave* não é a melhor opção para a fotopolimerização de uma resina composta à base de canforoquinona<sup>98</sup>.

O mesmo comportamento de diminuição do GC em profundidade foi observado para a resina composta SF (Figura 5.4). Na condição SF-Blue-ST, o GC se manteve uniforme do 1 mm ao 3 mm, com um valor significativamente menor no 4 mm ( $p < 0,05$ ), enquanto que na condição SF-Radii-ST, o GC se manteve constante apenas nos dois primeiros milímetros, o que pode ser devido à sua relativa baixa translucidez quando comparado às demais resinas compostas *bulk-fill* (Figura 5.11). Devido à proteção por patente das composições dos materiais, especialmente nas resinas compostas *bulk-fill*, alguns componentes não são mencionados em seu material técnico ou divulgados<sup>165</sup>. Duas possíveis explicações para o maior GC no 4 mm na condição SF-Blue-ST em comparação à condição SF-Radii-ST seriam a presença de co-iniciadores passíveis de sensibilização por espectros menores de luz, mais próximos ao violeta, e a maior irradiância emitida pelo Bluephase

G2. Em contrapartida, a indisponibilidade de luz violeta a 4 mm de profundidade já foi reportada<sup>75</sup>.

Conforme mostra a figura 5.5, o tratamento térmico aumentou significativamente o grau de conversão para todos os materiais estudados em todas as profundidades, independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ). A análise de regressão de Poisson mostrou que o tratamento térmico aumentou em média 40% o GC das resinas compostas estudadas (Tabela 5.4). A aplicação de calor pós-cura como instrumento de estudo do potencial de conversão de resinas compostas<sup>25</sup> e como meio de tratamento com o objetivo de aumento de propriedades para uso indireto já foi reportada na literatura<sup>166,167</sup>. Além de aumentar a mobilidade e difusão molecular<sup>144,168</sup>, o tratamento térmico também pode sensibilizar ligações duplas de monômeros não reagidos, funcionando assim como um iniciador da reação de polimerização<sup>41</sup>. Assim, a aplicação de calor permitiria não somente o aumento do GC, mas também o aumento da densidade do reticulado polimérico através do estabelecimento de ligações cruzadas entre cadeias<sup>41,168,169</sup>, o que por consequência, eleva a performance mecânica do material<sup>25,104</sup>. Ademais, se faz importante destacar que o tempo esperado entre a fotoativação e o tratamento térmico no presente estudo foi de 10 minutos, o que aumenta a magnitude da conversão monomérica em comparação a maiores tempos de espera<sup>146</sup>.

Na condição FO-Blue, onde uma redução significativa do GC havia sido observada na condição sem tratamento térmico (Figuras 5.2 e 5.3), o tratamento térmico foi capaz de homogeneizar o GC em profundidade de maneira que não foram observadas diferenças nos valores do 1 mm ao 4 mm (Tabela 5.2 e Figuras 5.5 e 5.6). Não há evidência na literatura que dê subsídio para justificar o fato de que o aparelho fotopolimerizador influenciou o GC após TT para a resina composta FO (Figura 5.6), quando na condição sem tratamento não houve diferença entre fotopolimerizadores em cada profundidade (Tabela 5.1). Para as condições CC-Blue, CC-Radii, FO-Radii, SF-Blue e SF-Radii, o tratamento térmico não foi capaz de homogeneizar o GC em profundidade (Figura 5.6), o que mostra que para a maioria dos materiais,

o GC após tratamento térmico é dependente da conversão inicial alcançada após a fotoativação.

Um trabalho anterior conduzido por Rodrigues-Júnior (2016) mostrou que o GC de sete resinas compostas *bulk-fill* em espécimes de 1 mm aumentou significativamente em média 45% após tratamento térmico a 170 °C por 10 minutos<sup>25</sup>. O presente estudo traz a evidência inédita na literatura de que, independente da profundidade ou segmento da restauração, o tratamento térmico é capaz de aumentar o grau de conversão em compósitos *bulk-fill*.

## 6.2 PROPRIEDADES ÓPTICAS

Para a análise das propriedades ópticas, foram avaliados o parâmetro de translucidez ( $PT_{00}$ ) e a variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) dos materiais.

A translucidez é um fenômeno óptico que permite a passagem de luz pelo interior de um objeto, ocorrendo espalhamento de parte da luz dentro do objeto e transmissão da outra parte à extremidade oposta do corpo<sup>95</sup>. A translucidez em resinas compostas depende da espessura do material<sup>34,124</sup>, assim como dos índices de refração de luz da matriz orgânica e das partículas de carga devido às múltiplas reflexões e refrações na interface carga/matriz<sup>56,122,125,127</sup>. Trabalhos na literatura têm mostrado que resinas compostas *bulk-fill* são mais translúcidas que as convencionais<sup>34,170</sup>. O presente estudo mostrou que a translucidez de compósitos *bulk-fill* não somente é maior que nos convencionais, como também não é afetada pelo fotopolimerizador ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.11).

O componente das resinas compostas que mais afeta a translucidez é o conteúdo inorgânico<sup>128</sup>. Fujita et al. estudaram o efeito da transmissão de luz visível em resinas compostas contendo partículas esféricas de diferentes tamanhos na dureza e profundidade de cura de materiais experimentais. Os autores concluíram que a quantidade de luz transmitida depende do tamanho da partícula de sílica, de maneira que o aumento da partícula de 0,05  $\mu\text{m}$  para

2  $\mu\text{m}$  diminui consideravelmente a transmissão de luz<sup>171</sup>. Isso porque menores tamanhos de partícula de carga diminuem a diferença entre os índices de refração da matriz orgânica e das partículas de carga<sup>56</sup>. Além disso, quanto maior a quantidade de carga, menor a translucidez<sup>34,129</sup>. No caso da resina composta TEC, a menor quantidade de carga e a presença de partículas pré-polimerizadas obtidas a partir da moagem da matriz orgânica polimerizada<sup>107</sup> podem ter sido o motivo pelo qual este material apresentou o maior parâmetro de translucidez<sup>53</sup>.

Para garantir melhores propriedades mecânicas e evitar a diminuição da translucidez em compósitos *bulk-fill*, alguns fabricantes têm investido no alto conteúdo de carga à base de partículas nanométricas. É o caso da resina composta FO, que possui 76,5% em peso e 58,5% em volume de partículas de sílica de 20 nm, partículas de zircônia que variam de 4 a 11 nm e partículas de trifluoreto de itérbio em aglomerados de 100 nm (Quadro 4.1). No presente estudo, a resina composta FO apresentou maior translucidez em relação à resina composta convencional ( $p < 0,05$ ), inferior apenas à resina composta TEC, independentemente do fotopolimerizador.

A resina composta SF possui conteúdo inorgânico superior à FO. Entretanto, devido à patente que protege o uso de nanopartículas por parte do fabricante da FO, o fabricante da resina composta SF não pode reduzir as partículas de carga na resina composta SF a tamanhos menores que 100 nm. Ao invés disso, o fabricante menciona *nano-scaled particles* no perfil técnico do produto, no entanto parece pouco provável que tais partículas possuam menos de 100 nm. Por este motivo, a resina composta SF apresentou a menor translucidez dentre as resinas compostas *bulk-fill* estudadas no presente trabalho (Figura 5.11). Ainda assim, a translucidez aumentada em relação à resina composta convencional pode ser explicada pela associação da presença de partículas de escala nanométrica ao Bis-GMA em sua composição. Azzopardi et al. mostraram uma correlação linear entre a porcentagem de Bis-GMA e a translucidez em materiais experimentais quando o conteúdo de carga foi mantido constante<sup>128</sup>. Isso porque o Bis-GMA é o monômero dimetacrilato que apresenta índice de refração (1.55) mais próximo ao índice de partículas de carga como o bário e a zircônia (ambos 1.55). Os

índices de refração dos monômeros UDMA e TEGDMA são inferiores ao do Bis-GMA, de 1.48 e 1.46, respectivamente<sup>64</sup>.

Para os materiais testados, o presente trabalho confirmou o achado de trabalhos anteriores<sup>34,170</sup> de que resinas compostas *bulk-fill* são mais translúcidas que as convencionais. Apesar de a translucidez ser uma propriedade desejável para a manutenção das propriedades em profundidade, clinicamente um acinzentamento da restauração pode ser observado<sup>122</sup>. O presente trabalho também mostrou que o tratamento térmico não alterou a translucidez dos compósitos estudados, independentemente do fotopolimerizador ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.11).

Além da translucidez, a variação de cor em diferentes momentos é um parâmetro importante para a avaliação de resinas compostas. No presente estudo, a diferença de cor ( $\Delta E_{00}$ ) entre as condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico foi avaliada a partir dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , baseado do sistema de cores de Munsell. O cálculo do  $\Delta E_{00}$  se deu pela fórmula de variação de cor do sistema CIEDE2000, visto que este é mais acurado em comparação ao sistema CIELab, pois detecta discretas variações de cor<sup>130</sup>.

O tratamento térmico causou alteração de cor em todos os materiais testados. Para as resinas compostas CC, TEC e SF não houve diferença estatisticamente significativa entre fotopolimerizadores ( $p \geq 0,05$ ). De maneira distinta, para a resina composta FO houve influência do fotopolimerizador na variação de cor ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.12). Paravina et al realizaram um estudo multicentro em diferentes universidades do mundo com estudantes de graduação, dentistas, assistentes, técnicos de laboratório e indivíduos alheios à Odontologia, e determinaram que os limites de perceptibilidade e aceitabilidade baseados no sistema CIEDE2000 são de 0,8 e 1,8 respectivamente<sup>157</sup>.

Baseado nestes parâmetros<sup>157</sup>, todas as resinas compostas *bulk-fill* apresentaram valor de  $\Delta E_{00}$  superior ao limite de perceptibilidade, entretanto somente a resina composta FO quando fotopolimerizada com Buephase G2 apresentou  $\Delta E_{00}$  superior ao limite de aceitabilidade (Figura 5.12). Vários

trabalhos têm estudado a variação de cor de resinas compostas *bulk-fill* frente a produtos, como dentifrícios clareadores<sup>172</sup>, e imersão em alimentos<sup>130,173</sup>. Este é o primeiro trabalho que avalia a variação de cor de resinas compostas *bulk-fill* após tratamento térmico.

Tendo em vista que o cálculo da variação de cor leva em consideração os parâmetros de Munsell L\*, a\* e b\*, a comparação de cada um desses parâmetros nas condições sem e com tratamento térmico foi realizada de maneira individual.

No eixo L\* (Figura 5.13), exceto para as condições CC-Radii e TEC-Radii ( $p \geq 0,05$ ), alterações estatisticamente significantes foram observadas ( $p < 0,05$ ). A resina composta FO sofreu alteração positiva significativa após tratamento térmico para ambos fotopolimerizadores, indicando que o TT elevou a luminosidade do material ( $p < 0,05$ ). De maneira oposta, para as condições CC-Blue, TEC-Blue, SF-Blue e SF-Radii, o tratamento térmico diminuiu significativamente o eixo L\* ( $p < 0,05$ ), independentemente do fotopolimerizador. Em ambos os casos, apesar da significância estatística detectada pelo teste devido ao pareamento das medidas, as alterações isoladas no eixo L\* podem ser consideradas clinicamente irrelevantes, pois equivalem a mudanças de -0,32% (CC-Blue), 0,56% (FO-Blue), 0,45% (FO-Radii), -0,37% (TEC-Blue), -0,54% (SF-Blue) e -0,22% (SF-Radii) (Tabela 5.5).

No eixo a\* (vermelho-verde) (Figura 5.14), exceto para a condição CC-Radii, todos os materiais variaram após tratamento térmico ( $p < 0,05$ ), seja de maneira positiva ou negativa, indicando uma tendência ao vermelho ou ao verde, respectivamente. Quando analisadas na condição sem tratamento térmico, as resinas compostas CC e SF se apresentavam no eixo a\* (+), ou seja em direção ao vermelho, enquanto que as resinas compostas FO e TEC no eixo a\* (-). Para as resinas compostas CC e TEC fotopolimerizadas pelo Bluephase G2, uma diferença estatisticamente significativa foi observada após tratamento térmico, indicando uma tendência ao vermelho (Figura 5.16). Para as demais condições (FO-Blue, FO-Radii, TEC-Radii, SF-Blue e SF-Radii) uma tendência ao verde foi observada. Não há evidências na literatura que fomentem justificativa para tais achados.

A figura 5.16 dispõe a tendência de variação após o tratamento térmico nas diferentes resinas compostas nos eixos  $a^*$  e  $b^*$ . É importante salientar que tal disposição dos resultados foi proposta com o intuito de facilitar a visualização da tendência de variação dos eixos, e não a posição de determinado material em dada condição na escala de Munsell. Por exemplo, a figura 5.14 mostra que a resina composta SF nas condições Blue-ST, Blue-TT apresentam valores positivos no eixo  $a^*$ , ou seja no vermelho. Na figura 5.16, as setas no eixo  $a^*$  para ambas condições da resina composta SF apresentam-se em direção ao verde (eixo  $a^*$  (-)). Na prática, a resina composta não se encontrava no eixo  $a^*$  (-) após tratamento térmico, mas sim apresentou uma tendência à diminuição do eixo  $a^*$  (+), ou seja em direção ao seu oposto  $a^*$  (-), verde.

No eixo  $b^*$  (Figura 5.15), variações positivas significantes para todos os materiais foram observadas após tratamento térmico, o que mostra que a aplicação de calor causou um amarelecimento dos materiais (Figura 5.16). Além da canforoquinona, resinas compostas possuem co-iniciadores que auxiliam na reação de polimerização, na maioria das vezes aminas alifáticas. Apesar de a canforoquinona possuir cor amarela, a reação de polimerização leva à descoloração desse componente, o que não justificaria o amarelecimento observado. Entretanto, aminas utilizadas como co-iniciadores são conhecidas por formar subprodutos durante a reação de polimerização, que tendem a causar o amarelecimento ou descolorações amarronzadas sob a influência de luz ou calor<sup>174</sup>. Para polimerizar em profundidade, resinas compostas *bulk-fill* de fato possuem co-iniciadores que auxiliam na reação de polimerização. Dessa forma, a degradação desses componentes seria uma possível explicação para a variação positiva no eixo  $b^*$  sofrida pelos materiais estudados.

### 6.3 NANODUREZA

No presente estudo, a nanodureza dos materiais estudados foi avaliada em função do aparelho fotopolimerizador, da condição de cura e da profundidade. Todos os materiais, seja pelo fotopolimerizador ou pela condição de tratamento apresentaram diminuição significativa da dureza em profundidade ( $p < 0,05$ ), corroborando com achados anteriores da literatura<sup>25,98,175</sup> (Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10).

A avaliação da dureza, seja ela micro ou nanodureza, tem sido amplamente aplicada no estudo de materiais dentários<sup>25,98,175</sup>, e especialmente em compósitos pode ser considerada um parâmetro de avaliação indireta do reticulado polimérico<sup>25</sup>. Entretanto, a falta de padronização da metodologia pode levar a resultados que não condizem com a performance do material. Isso porque além da composição, diversos fatores alheios ao material podem influenciar na leitura. Um desses fatores é o material utilizado para moldar a forma dos espécimes. No presente estudo, optou-se pelo uso de uma matriz à base de polímero para a confecção dos corpos de prova, pois o uso de matrizes metálicas pode diminuir a transmissão de luz em profundidade, subestimando a performance do material<sup>43</sup>. Além disso, por se tratar de um teste onde a endentação possui dimensões nanométricas e dada a composição heterogênea das resinas compostas, a região de endentação foi padronizada de forma que o endentador penetrasse apenas na matriz orgânica, evitando o contato direto com as partículas de carga e regiões de interface entre carga e matriz, o que poderia levar a um alto desvio-padrão. Para que se pudesse obter um parâmetro de nanodureza referente à camada mais superficial, ou seja, aquela que recebeu diretamente a luz proveniente do fotopolimerizador, a primeira profundidade considerada localizava-se 100  $\mu\text{m}$  abaixo do bordo superior do corpo de prova (Figura 4.6). A partir deste ponto, leituras referentes às profundidades 1, 2, 3 e 4 mm eram realizadas a cada 1000  $\mu\text{m}$  em direção à base do espécime (Figura 4.6).

Uma redução na dureza de 44,5% em profundidade na condição CC-Blue-ST e de 35,1% para CC-Radii-ST foi observada. Dada a correlação observada entre GC e ND ( $r=0,7973$ ) (Figura 5.38), tais resultados se justificam pela menor conversão em profundidade (Tabela 5.1) devido à baixa translucidez deste material (Figura 5.11). Maiores valores em todas as profundidades foram observados para CC-Radii-ST ( $p<0,05$ ) (Figura 5.17), o que pode ser justificado pelo fato de que parte da energia emitida pelo fotopolimerizador Bluephase G2 não é aproveitada por este material, tendo em vista o seu sistema fotoiniciador à base de canforoquinona.

Os achados de nanodureza para a resina composta FO quando fotopolimerizada com o Radii Plus (Figura 5.18) não seguem a tendência de correlação encontrada entre GC e ND observada no presente estudo (Figura 5.38). Conforme mostra a figura 5.2, para a condição FO-Radii-ST, um GC constante em profundidade associado a valores decrescentes de ND foram observados em profundidade (Figura 5.18). Tal achado poder ser explicado pelo fato de que apesar de as doses de luz aplicadas terem sido iguais em ambas situações ( $20\text{J}/\text{cm}^2$ ), o tempo de fotoativação para o fotopolimerizador Radii Plus foi maior devido à menor irradiância emitida ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ). Ilie e Stark (2014) mostraram que menores tempos de irradiação associados a maior irradiância podem diminuir a profundidade de cura em resinas compostas *bulk-fill*<sup>66</sup>. A transmissão é afetada à medida que a espessura do material aumenta<sup>66,98,124</sup>, mas geralmente um aumento da translucidez pode ser observado durante a polimerização<sup>170</sup>. Dessa maneira, maiores tempos de irradiação podem facilitar a transmissão de luz em profundidade devido ao aumento da translucidez durante a polimerização<sup>66</sup>.

A presença do Ivocerin® na resina composta TEC garantiu valores semelhantes de nanodureza ( $p\geq 0,05$ ) em profundidade quando o material foi fotopolimerizado com o Bluephase G2. No caso do Radii Plus, uma redução em profundidade foi observada ( $p<0,05$ ). Ainda assim, não houve diferença entre o 4 mm quando ambos fotopolimerizadores foram comparados (Figura 5.19).

Para a resina composta SF em ambas condições SF-Blue-ST e SF-Radii-ST, a translucidez relativa do material (Figura 5.11) permitiu a manutenção da dureza em valores semelhantes do topo ao 3 mm (Figura 5.20). Apesar da redução de densidade de energia detectada na base de espécimes de 2 a 4 mm para a antecessora da resina composta SonicFill™ 2 (SonicFill™) reportada por Bucuta e Ilie<sup>170</sup>, a reação de polimerização em profundidade não é dependente somente da quantidade de fótons que alcançam uma certa profundidade, mas também é influenciada pelo processo de polimerização já iniciado em segmentos mais próximos à luz através da propagação em profundidade<sup>66</sup>.

Dada a correlação entre dureza e resistência ao desgaste reportada anteriormente na literatura<sup>159,160</sup>, uma análise isolada comparativa entre a nanodureza da superfície topo dos materiais foi realizada (Figura 5.21). Os maiores valores foram observados para a resina composta SF ( $p < 0,05$ ), independentemente do fotopolimerizador ( $p \geq 0,05$ ). A resina composta SF apresenta a maior quantidade de fração inorgânica dentre os materiais avaliados (Quadro 4.1), o que justifica este achado. Para a resina composta CC, valores significativamente menores foram observados na condição CC-Blue-ST em comparação a CC-Radii-ST, provavelmente pelo fato de que uma menor irradiância de luz azul pelo aparelho Bluephase G2 em detrimento da emissão de luz violeta tenha afetado a qualidade do reticulado polimérico formado no topo. Valores semelhantes entre as condições CC-Radii-ST, FO-Blue-ST e FO-Radii-ST foram observados ( $p \geq 0,05$ ). A presença de partículas pré-polimerizadas na resina composta TEC pode ter sido responsável pelos menores valores de dureza<sup>102</sup>.

O tratamento térmico aumentou a dureza para todas as profundidades dos compósitos CC, FO e TEC independentemente do fotopolimerizador ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 5.9, 5.10 e Figura 5.22). Tal aumento poderia estar relacionado à elevação do grau de conversão após tratamento térmico<sup>25</sup> somente. Entretanto a análise de correlação de Pearson mostrou que a correlação entre as duas propriedades diminuiu de  $r=0,7973$  para  $r=0,3994$  após tratamento térmico (Figura 5.38). Uma possível explicação para este achado seria o fato de que durante a polimerização adicional causada por

calor, a diminuição da quantidade de monômeros não reagidos está em sua maioria relacionada à formação de ramificações e crescimento linear de cadeias poliméricas, mais do que o estabelecimento de ligações cruzadas entre cadeias, o que aumentaria a densidade do reticulado polimérico, ou seja o grau de polimerização, e por consequência, a sua resistência à endentação.

A dureza da resina composta SF não foi influenciada pelo tratamento térmico ( $p \geq 0,05$ ) (Figura 5.22), o que já havia sido relatado anteriormente para a versão comercial antecessora à atualmente disponível<sup>25</sup>. Este achado sugere que o aumento do GC observado neste material não necessariamente reflete em um maior grau de polimerização.

Quando todas as variáveis e seus subníveis são levados em consideração, a resina composta SF apresentou a melhor performance, seguida de FO. Por outro lado, TEC apresentou valores em média 5% menores que a resina composta convencional e a fonte de luz não exerceu influência significativa para nenhum dos materiais. O tratamento térmico aumentou a nanodureza em 26% e uma diminuição média de 6% a cada milímetro foi observada para os materiais testados (Tabela 5.11).

#### 6.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

No presente estudo, o módulo de elasticidade foi avaliado em função do aparelho fotopolimerizador, da condição de cura e da profundidade. Trabalhos na literatura têm relacionado o ME à tensão de polimerização<sup>176</sup>, que por sua vez pode prejudicar a adaptação do material devido à formação de *gaps* na interface adesiva<sup>177</sup>.

Para as resinas compostas CC, FO e SF com ambos fotopolimerizadores e TEC com Raddi Plus, uma diminuição do ME em profundidade foi observada ( $p < 0,05$ ). No caso da resina composta CC (Figura 5.25), valores inferiores de módulo de elasticidade em todas as profundidades foram observados para a condição CC-Blue-ST (Figura 5.25), reforçando a

ideia já mencionada anteriormente e apresentada em outro trabalho<sup>33</sup> de que o uso de fotopolimerizadores do tipo *polywave* pode prejudicar o desempenho de materiais à base de canforoquinona. O mesmo comportamento foi observado para a nanodureza neste material, comprovando a alta correlação observada entre as duas propriedades ( $r=0,9571$ ) na condição sem tratamento térmico (Figura 5.40). A diminuição do ME em profundidade pode ainda ser relacionada à diminuição do GC<sup>178</sup>, à menor translucidez da resina composta CC (Figura 5.11) e à presença do Bis-GMA como componente principal da matriz orgânica<sup>179</sup>.

O módulo de elasticidade de resinas compostas tem sido relacionado diretamente ao conteúdo de inorgânico<sup>179,180</sup>. Por este motivo, a resina composta SF apresentou os maiores valores de ME na condição sem tratamento térmico. Sendo SF um compósito que utiliza canforoquinona como iniciador, a dependência da disponibilidade de luz azul em profundidade ficou evidente pelo fato de que o ME<sub>4mm</sub> na condição SF-Radii-ST foi maior que a mesma profundidade na condição SF-Blue-ST. (Figura 5.28). Um estudo de Ilie et al. mostrou que dentre sete compósitos *bulk-fill*, a resina composta SF apresentou o segundo maior ME<sup>20</sup>. Em contrapartida, em estudo de Han e Park, a resina composta SF apresentou a menor tensão de polimerização dentre diversos materiais, similar a uma resina composta convencional<sup>181</sup>.

Apesar de trabalhos anteriores terem mostrado que a luz violeta emitida por fotopolimerizadores *polywave* pode não alcançar maiores profundidades<sup>75</sup>, a resina composta TEC na condição TEC-Blue-ST apresentou ME<sub>4mm</sub> estatisticamente maior que a mesma profundidade na condição TEC-Radii-ST (Figura 5.27). A tensão de polimerização de TEC foi reportada similar a uma resina composta convencional<sup>181</sup>. Um estudo recente avaliou propriedades de resinas compostas *bulk-fill* em comparação às suas contrapartes convencionais e mostrou que a resina composta TEC apresentou módulo flexural superior à sua contraparte Tetric N-Ceram<sup>95</sup>.

No caso da resina composta FO (Figura 5.26), os valores semelhantes nos três primeiros milímetros podem ser atribuídos à sua translucidez (Figura 5.11) e ao alto conteúdo de carga. Corroborando com outros trabalhos<sup>178,182</sup>, uma forte correlação foi observada entre GC e ME ( $r=0,7709$ ) no presente estudo (Figura 5.39).

À medida que a quantidade de monômeros não reagidos diminui, propriedades mecânicas como módulo de elasticidade e resistência à flexão aumentam<sup>45</sup>. No presente estudo, o tratamento térmico aumentou o ME para as resinas compostas CC, FO e TEC em todas as profundidades para ambos fotopolimerizadores ( $p<0,05$ ), o que pode ser explicado pelos valores aumentados de GC e pelo aumento da quantidade de ligações cruzadas entre cadeias<sup>41,147,148</sup>, aumentando a rigidez do material (Tabelas 5.13, 5.14 e Figura 5.29). Seguindo a tendência de correlação entre ND e ME ( $r=0,9571$ ) (Figura 5.40) não houve aumento estatisticamente significativo de ME para a resina composta SF após tratamento térmico.

De maneira geral, a análise de regressão de Poisson para ME revelou que as resinas compostas SF e FO apresentaram os maiores valores de ME. TEC e CC tiveram performance semelhante. O aparelho fotopolimerizador não exerceu influência, entretanto o tratamento térmico foi capaz de aumentar o ME em média em 28% (Tabela 5.15).

## 6.5 RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAxIAL

A resistência à flexão biaxial foi avaliada em função do aparelho fotopolimerizador e da condição de cura. Não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre fotopolimerizadores para cada material na condição sem tratamento térmico ( $p\geq 0,05$ ).

A resistência à flexão representa o estresse máximo experimentado por uma resina composta antes da sua fratura<sup>95</sup> e é influenciada principalmente pelo grau de conversão<sup>178</sup> e pelo conteúdo inorgânico<sup>10,19,44,102,109</sup>.

Um trabalho recente mostrou que compósitos nanoparticulados apresentam maior resistência à flexão biaxial que resinas compostas microhíbridas e microparticuladas<sup>183</sup>, o que está em acordo com o achado do presente estudo de que a resina composta FO apresentou os maiores valores de resistência à flexão. Isso se deve não somente pelo alto conteúdo de carga deste material, mas também porque menores partículas permitem um maior contato, e conseqüentemente melhor interação, entre a matriz orgânica e a fração inorgânica<sup>184</sup>.

Ao analisar os materiais estudados e suas composições (Quadro 4.1), é interessante perceber que o material com maior quantidade de carga em volume e peso, SF, apresentou resistência à flexão intermediária (Figura 5.31). Um estudo de Leprince et al. mostrou que a resina composta SonicFill™, predecessora da SonicFill™ 2, apresentou os maiores valores de resistência à flexão dentre os 11 materiais estudados<sup>10</sup>. Entretanto, vale a observação de que o trabalho de Leprince et al. não incluiu resinas compostas nanoparticuladas em sua avaliação.

Apesar de o fabricante da resina composta TEC informar que o material possui fração inorgânica de 77% em peso e 53 a 55% em volume, é importante observar que parte dessa fração é formada por partículas pré-polimerizadas, o que sabidamente diminui a resistência à flexão do material<sup>20,25,102</sup>. Tal assertiva traz subsídio para justificar a baixa resistência à flexão observada para a resina composta TEC (Figura 5.31). Para este material, nem a presença do fotoiniciador Ivocerin® nem a polimerização do material por um fotopolimerizador *polywave* favoreceram o desenvolvimento de uma maior resistência à flexão.

Além do grau de conversão e do conteúdo de carga, a resistência à flexão também é influenciada pela interação entre esses dois componentes<sup>19,25,185</sup>. Independentemente do formato das partículas de carga, a interface carga/matriz provê considerável contribuição para a resistência do material<sup>5</sup>. Durante a reação de polimerização, os monômeros são movimentados em diversas direções a fim de que ligações covalentes entre suas moléculas sejam estabelecidas. Nisto, monômeros e cadeias poliméricas

podem ser movimentados na direção oposta às partículas de carga, levando à formação de fendas (espaços vazios) e gerando o acúmulo de tensões na interface carga/matriz<sup>146,185,186</sup>, comprometendo a performance mecânica do material<sup>185</sup>.

O aumento na resistência à flexão não pode ser totalmente atribuído ao aumento no grau de conversão<sup>146</sup>. O tratamento térmico após fotoativação causa uma espécie de “recozimento” do material através da movimentação de segmentos moleculares e do rearranjo de cadeias poliméricas<sup>146</sup>, que podem levar à relaxação das tensões geradas na interface carga/matriz durante a polimerização por luz<sup>46,144,186</sup>. A transferência de estresses da matriz polimérica para as partículas de carga é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento da tenacidade à fratura e resistência à flexão. Acredita-se que exista diferença na adesão entre as partículas de carga e a matriz entre resinas compostas<sup>19</sup>.

O aumento da resistência à flexão de resinas compostas convencionais<sup>46,104,105,112,113,187</sup> e *bulk-fill*<sup>25</sup> após tratamento térmico foi relatado na literatura. Um trabalho de Rodrigues-Júnior comprovou o aumento de propriedades mecânicas como dureza, resistência à flexão e tenacidade à fratura de resinas compostas *bulk-fill* fotopolimerizadas por uma unidade de luz LED<sup>25</sup>. O presente trabalho é o primeiro a avaliar a influência do aparelho fotopolimerizador no resultado após tratamento térmico na resistência à flexão de resinas compostas *bulk-fill*.

No presente estudo, todos os materiais, independentemente do aparelho fotopolimerizador utilizado, exceto SF-Radii apresentaram aumento significativo de resistência à flexão após tratamento térmico ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 5.16 e 5.17). Neste sentido, parece evidente que resinas compostas *bulk-fill* não representam uma evolução em relação às resinas compostas convencionais no que se refere à formação de tensões na interface carga/matriz. Ainda assim, tais achados validam o uso de resinas compostas *bulk-fill* como materiais restauradores indiretos com propriedades melhoradas por tratamento térmico.

O aumento não significativo na condição SF-Radii ( $p \geq 0,05$ ) levanta a possibilidade de que para a resina composta SF, um menor acúmulo de tensões possa ter sido gerado na interface carga/matriz. Uma possível explicação seria que os moduladores reológicos da reação de polimerização, como são chamados pelo fabricante, possam na verdade ser modificações nas estruturas monoméricas que permitam maior relaxação durante a reação de polimerização com o intuito de minimizar a tensão de polimerização. Além disso, a menor quantidade de matriz orgânica poderia diminuir a formação de tensões intrínsecas no material.

A análise de regressão de Poisson (Tabela 5.19) revelou que no geral, a resina composta FO apresentou a melhor resistência à flexão, 33% maior que a resina composta convencional CC. A resina composta SF, apesar de ter apresentado RFB semelhante à resina composta convencional na condição sem tratamento térmico (Figura 5.31), na análise de regressão apresentou-se 28% inferior a esta. Entretanto, esse achado deve ser analisado com cautela para evitar erros de interpretação. Isso porque quando a variável *material* é analisada pela regressão de Poisson, todas as outras variáveis (*fotopolimerizador* e *condição de tratamento*) são consideradas uma só. Ou seja, o teste não desconsidera o fato de que a resina composta SF não teve um aumento estatisticamente significativo na condição SF-Radii-TT. Quanto ao fotopolimerizador, não houve diferença estatisticamente significativa ( $p=0,155$ ) e o tratamento térmico aumentou em média em 22% a RFB dos materiais estudados.

## 6.6 PROFUNDIDADE DE CURA

O presente estudo avaliou a profundidade de cura das resinas compostas estudadas a partir dos resultados de grau de conversão e nanodureza, baseado em outros trabalhos publicados anteriormente<sup>43,75,80</sup>. Tendo em vista que o aumento da espessura em resinas compostas diminui a transmissão de luz<sup>69,124,139</sup> e sendo as resinas compostas *bulk-fill* indicadas

para uso em incrementos de 4 a 5 mm<sup>15-17</sup>, a profundidade de cura é um parâmetro chave a ser avaliado nesses materiais<sup>80</sup>.

Diversos trabalhos têm proposto o uso do parâmetro de relação base/topo de 0,8 ou 80% como o mínimo para o cálculo da profundidade de cura em resinas compostas *bulk-fill*, entretanto a falta de consenso na literatura quanto à metodologia adequada e a carência de evidência clínica podem dificultar a interpretação dos resultados<sup>80</sup>.

Apesar da tendência de abreviação do tempo clínico despendido em procedimentos restauradores, a diminuição do tempo de irradiação associada a alta dose de energia pode diminuir a profundidade de cura<sup>66</sup>. Por isso, irradiâncias intermediárias por tempo relativamente longo e dose constante foram adotados no presente estudo.

Conforme mostra a figura 5.34, todos os materiais *bulk-fill* alcançaram profundidade de cura de 4 mm, independentemente do fotopolimerizador, enquanto que a resina composta CC apresentou PC<sub>GC</sub> de 3 mm. Para a resina composta convencional (CC), a PC<sub>GC</sub> observada é superior à espessura máxima recomendada pelo fabricante (2 mm), o que comprova que o uso deste material em incrementos de até 3 mm de espessura é seguro. Para as resinas compostas *bulk-fill*, a PC de 4 mm está associada à maior translucidez desses materiais em comparação ao compósito convencional (Figura 5.11), o que permite maior passagem de luz em profundidade e maiores valores de conversão monomérica em regiões mais profundas.

Por outro lado, quando avaliada a profundidade de cura por nanodureza sem tratamento térmico (Figura 5.35), os compósitos *bulk-fill* só foram capazes de alcançar PC<sub>ND</sub> de 4 mm quando fotopolimerizados com Bluephase G2. Com Rarii Plus, as relações 4 mm/1 mm foram 0,64, 0,68, 0,77 e 0,77 para CC, FO, TEC e SF, respectivamente (Tabela 5.23). É interessante também destacar que as diferenças de PC entre as duas propriedades (GC e ND) reforçam o mencionado anteriormente de que os valores relativamente altos de grau de conversão observados em profundidade não necessariamente implicam em um maior grau de polimerização.

Após tratamento térmico, o aumento no GC observado para todas as resinas compostas se refletiu em uma profundidade de cura de 4 mm para a resina composta CC na condição CC-Blue-TT. Para as resinas compostas *bulk-fill*, mesmo com as diferenças observadas em profundidade, a PC após tratamento térmico se manteve em 4 mm. Na condição Radian-TT, a resina composta CC alcançou relação 4 mm/1 mm de 0,78 (Tabela 5.21).

A PC<sub>ND</sub> com tratamento térmico para a resina composta CC aumentou de 2 mm para 3 mm, o que indica que o aumento do GC para esse material após TT se refletiu no aumento do grau de polimerização. No caso das resinas compostas *bulk-fill* fotopolimerizadas com Radian Plus, apenas a resina composta TEC alcançou PC<sub>ND</sub> de 4 mm. Com Radian Plus, as relações 4 mm/1 mm foram 0,68, 0,78 e 0,71 para CC, FO, e SF, respectivamente (Tabela 5.23).



## 7 CONCLUSÕES

Baseado nos achados do presente estudo e nas hipóteses nulas consideradas:

Embora diferenças estatísticas pontuais tenham sido observadas, no geral o fotopolimerizador não exerceu influência sobre as propriedades estudadas. Dessa maneira, a primeira hipótese nula foi parcialmente rejeitada.

Com pontuais exceções, foi observada redução do grau de conversão, da nanodureza e do módulo de elasticidade em profundidade. Assim, a segunda hipótese nula foi parcialmente rejeitada.

O tratamento térmico elevou o grau de conversão, a nanodureza, o módulo de elasticidade, a resistência à flexão e a profundidade de cura das resinas compostas estudadas, exceto para a SF na dependência do fotopolimerizador. Quanto às propriedades ópticas, o parâmetro de translucidez se manteve inalterado, entretanto todos os materiais apresentaram variação de cor após tratamento térmico. Assim, a terceira hipótese nula foi parcialmente rejeitada.

Por fim, o presente estudo valida a utilização de tratamento térmico como tratamento pós-cura em resinas compostas *bulk-fill* com finalidade indireta.



**REFERÊNCIAS<sup>1</sup>**

1. Jandt KD, Sigusch BW. Future perspectives of resin-based dental materials. *Dent Mater.* 2009 Aug;25(8):1001-6. doi: 10.1016/j.dental.2009.02.009.
2. Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dent Mater.* 2013 Feb;29(2):139-56. doi: 10.1016/j.dental.2012.11.005.
3. Calheiros FC, Sadek FT, Boaro LCC, Braga RR. Polymerization stress related to radiant exposure and its effect on microleakage of composite restorations. *J Dent.* 2007 Dec;35(12):946-52. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.09.009>
4. Anatavara S, Sitthiseripratip K, Senawongse P. Stress relieving behaviour of flowable composite liners: a finite element analysis. *Dent Mater J.* 2016;35(3):369-78. doi: 10.4012/dmj.2015-204.
5. Lohbauer U, Belli R, Ferracane JL. Factors involved in mechanical fatigue degradation of dental resin composites. *J Dent Res.* 2013;92(7):584-91. doi: 10.1177/0022034513490734.
6. Lutz E, Krejci I, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int.* 1986 Dec;17(12):777-84.
7. Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJP. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent.* 2012 Jun;40(6):500-5. doi: 10.1016/j.jdent.2012.02.015.
8. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater.* 2014 Feb;30(2):149-54. doi: 10.1016/j.dental.2013.10.011.

---

<sup>1</sup> De acordo com Estilo Vancouver.

9. Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: Incremental or bulk filling? *Dent Mater.* 2008 Nov;24(11):1501-5. doi: 10.1016/j.dental.2008.03.013.
10. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent.* 2014 Aug;42(8):993-1000. doi: 10.1016/j.jdent.2014.05.009.
11. Borges ALS, Borges AB, Xavier TA, Bottino MC, Platt JA. Impact of quantity of resin, C-factor, and geometry on resin composite polymerization shrinkage stress in Class V restorations. *Oper Dent.* 2014 Mar-Apr;39(2):144-51. doi: 10.2341/12-440-L.
12. Rizzante FAP, Duque JA, Duarte MAH, Mondelli RFL, Mendonça G, Ishikiriyama SK. Polymerization shrinkage, microhardness and depth of cure of bulk fill resin composites. *Dent Mater J.* 2019 Jun;38(3):403-10. doi: 10.4012/dmj.2018-063.
13. Tabatabaei MH, Arami S, Farahat F. Effect of mechanical loads and surface roughness on wear of silorane and methacrylate-based posterior composites. *J Dent (Tehran).* 2016 Nov;13(6):407-14.
14. Maghaireh G, Taha N, Alzraikat H. The silorane-based resin composites: a review. *Oper Dent.* 2017 Jan/Feb;42(1):E24-34. doi: 10.2341/15-311-LIT.
15. Marovic D, Tauböck TT, Attin T, Panduric V, Tarle Z. Monomer conversion and shrinkage force kinetics of low-viscosity bulk-fill resin composites. *Acta Odontol Scand.* 2014 Aug;73(6):474-80. doi: 10.3109/00016357.2014.992810.
16. Benetti A, Havndrup-Pedersen C, Honoré D, Pedersen M, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent.* 2015 Mar-Apr;40(2):190-200. doi: 10.2341/13-324-L.
17. Hirata R, Kabbach W, De Andrade OS, Bonfante EA, Giannini M, Coelho PG. Bulk fill composites: an anatomic sculpting technique. *J Esthet Restor Dent.* 2015 Nov-Dec;27(6):335-43. doi: 10.1111/jerd.12159.

18. Lagocka R, Jakubowska K, Chlubek D, Buczkowska-Radlińska J. Elution study of unreacted TEGDMA from bulk-fill composite (SDR™ Dentsply) using HPLC. *Adv Med Sci*. 2015 Sep;60(2):191-8. doi: 10.1016/j.advms.2015.02.003.
19. Garoushi S, Säilynoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dent Mater*. 2013 Aug;29(8):835-41. doi: 10.1016/j.dental.2013.04.016.
20. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an *in vitro* assessment of their mechanical performance. *Oper Dent*. 2013 Nov-Dec;38(6):618-25. doi: 10.2341/12-395-L.
21. Flury S, Peutzfeldt A, Lussi A. Influence of increment thickness on microhardness and dentin bond strength of bulk fill resin composites. *Dent Mater*. 2014 Oct;30(10):1104-12. doi: 10.1016/j.dental.2014.07.001.
22. Kim RJY, Kim YJ, Choi NS, Lee IB. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. *J Dent*. 2015 Apr;43(4):430-9. doi: 10.1016/j.jdent.2015.02.002.
23. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, Petschelt A, Taschner M. Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater*. 2015 Mar;31(3):293-301. doi: 10.1016/j.dental.2014.12.010.
24. Wang R, Liu H, Wang Y. Different depth-related polymerization kinetics of dual-cure, bulk-fill composites. *Dent Mater*. 2019 Aug;35(8):1095-1103. doi: 10.1016/j.dental.2019.05.001.
25. Rodrigues-Júnior E. Estudo de propriedades de resinas compostas bulk fill [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2016.
26. Coltene. Fill-Up! [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <https://nam.coltene.com/products/restoration/bulk-fill-composite/fill-up/fill-up/>.

27. Scotti N, Comba A, Gambino A, Paolino DS, Alovise M, Pasqualini D, Berutti E. Microleakage at enamel and dentin margins with a bulk fills flowable resin. *Eur J Dent*. 2014 Jan;8(1):1-8. doi: 10.4103/1305-7456.126230.
28. Toh W, Yap A, Lim S. In vitro biocompatibility of contemporary bulk-fill composites. *Oper Dent*. 2015 Nov-Dec;40(6):644-52. doi: 10.2341/15-059-L.
29. Dentsply. Surefil SDR [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: [http://www.dentsply.com.br/isogesac/hisows\\_portal.aspx?1,2,2,Produto,61,232,0,,0,0,0,0,](http://www.dentsply.com.br/isogesac/hisows_portal.aspx?1,2,2,Produto,61,232,0,,0,0,0,0,).
30. Kerr Corporation. SonicFill 2 [descrição do produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <https://www.kerrdental.com/en-eu/dental-restoration-products/sonicfill-2-composites>.
31. Ibarra ET, Lien W, Casey J, Dixon SA, Vandewalle KS. Physical properties of a new sonically placed composite resin restorative material. *Gen Dent*. 2015 May-Jun;63(3):51-6.
32. GC Europe. everX Posterior [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <http://www.gceurope.com/products/detail.php?id=162>.
33. Lima RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, Murillo-Gómez F, Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: a systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2018 Nov;30(6):492-501. doi: 10.1111/jerd.12394.
34. Son SA, Park JK, Seo DG, Ko CC, Kwon YH. How light attenuation and filler content affect the microhardness and polymerization shrinkage and translucency of bulk-fill composites? *Clin Oral Investig*. 2017 Mar;21(2):559-65. doi: 10.1007/s00784-016-1920-2.
35. Al-Ahdal K, Ilie N, Silikas N, Watts DC. Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the degree of conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth. *Dent Mater*. 2015 Oct;31(10):1207-13. doi: 10.1016/j.dental.2015.07.004.
36. Deb S, Di Silvio L, MacKler HE, Millar BJ. Pre-warming of dental composites. *Dent Mater*. 2011 Apr;27(4):e51-9. doi: 10.1016/j.dental.2010.11.009.

37. Peutzfeldt A, Asmussen E. The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites. *J Dent*. 2000 Aug;28(6):447-52. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(00\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(00)00021-X).
38. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2002 Apr;23(8):1819-29. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00308-8](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00308-8).
39. Anusavice K. *Phillips materiais dentários*. 12th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2012.
40. Odian G. *Principles of polymerization*. 4th ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons; 2004.
41. Bausch JR, De Lange C, Davidson CL. The influence of temperature on some physical properties of dental composites. *J Oral Rehabil*. 1981 Jun;8(4):309-17. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1981.tb00505.x>.
42. Lovell LG, Newman SM, Bowmanl CN. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res*. 1999 Aug;78(8):1469-76. <https://doi.org/10.1177/00220345990780081301>.
43. AlShaafi MM, AlQussier A, AlQahtani MQ, Price RB. Effect of mold type and diameter on the depth of cure of three resin-based composites. *Oper Dent*. 2018 Sep/Oct;43(5):520-9. doi: 10.2341/17-122-L.
44. Gajewski VES, Pfeifer CS, Fróes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J*. 2012 Sep/Oct;23(5):508-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-64402012000500007>.
45. Conditt M, Leinfelder K. Improving the polymerization of composite resins. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2006 Apr;18(3):169-71.
46. Miyazaki CL, Medeiros IS, Matos JR, Rodrigues Filho LE. Thermal characterization of dental composites by TG/DTG and DSC. *J Thermal Analys Calorimetry*. 2010 Oct;102(1):361-7. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0739-3>

47. Silva B. Efeito do tratamento térmico sobre a sorção e solubilidade, tenacidade à fratura e grau de conversão de compósitos restauradores diretos [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2010.
48. Esteves R. Influência da composição da matriz orgânica, conteúdo inorgânico e tratamento térmico sobre diferentes propriedades de compósitos experimentais [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2013.
49. Orłowski M, Tarczydło B, Chałas R. Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: in vitro study. *Sci World J*. 2015;2015:701262. doi: 10.1155/2015/701262.
50. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*. 2014 Nov;18(8):1991-2000. doi: 10.1007/s00784-013-1177-y.
51. Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. *Odontology*. 2016 Sep;104(3):291-7. doi: 10.1007/s10266-015-0227-0.
52. Harlow JE, Rueggeberg FA, Labrie D, Sullivan B, Price RB. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites. *J Dent*. 2016 Oct;53:44-50. doi: 10.1016/j.jdent.2016.06.007.
53. Kim E, Jung H, Hur B, Kwon H, Park K. Effect of resin thickness on the microhardness and optical properties of bulk-fill resin composites. *Restor Dent Endod*. 2015 May;40(2):128-35. doi: 10.5395/rde.2015.40.2.128.
54. 3M ESPE. Filtek One Bulk Fill [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: [https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~//Resina-para-Preenchimento-em-Bulk-3M-Filtek-One-Refil-1-Seringa-de-4-g/?N=5002385+32905](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~//Resina-para-Preenchimento-em-Bulk-3M-Filtek-One-Refil-1-Seringa-de-4-g/?N=5002385+32905).
55. Ivoclar Vivadent. Tetric N-Ceram Bulk Fill [descrição de produto]. [201-]. [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <https://www.ivoclarvivadent.com.br/pt-br/productcategories/tetric-n-ceram-bulk-fill>.

56. Eom A-H, Kim D-S, Lee S-H, Byun C-W, Park N-H, Choi K-K. Optical characteristics of resin composite before and after polymerization. *J Korean Acad Conserv Dent*. 2011;36(3):219-30. doi: 10.5395/JKACD.2011.36.3.219.
57. Lassila LVJ, Nagas E, Vallittu PK, Garoushi S. Translucency of flowable bulk-filling composites of various thicknesses. *Chin J Dent Res*. 2012;15(1):31-5.
58. Daugherty MM, Lien W, Mansell MR, Risk DL, Savett DA, Vandewalle KS. Effect of high-intensity curing lights on the polymerization of bulk-fill composites. *Dent Mater*. 2018 Oct;34(10):1531-41. doi: 10.1016/j.dental.2018.06.005.
59. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig*. 2013 Jan;17(1):227-35. doi: 10.1007/s00784-012-0702-8.
60. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LES, Martin AA, Ambrosano G, Giannini M. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2015 Dec;31(12):1542-51. doi: 10.1016/j.dental.2015.10.001.
61. Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater*. 2001 Mar;17(2):178-83. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00066-X).
62. Alshali RZ, Salim NA, Sung R, Satterthwaite JD, Silikas N. Qualitative and quantitative characterization of monomers of uncured bulk-fill and conventional resin-composites using liquid chromatography/mass spectrometry. *Dent Mater*. 2015 Jun;31(6):711-20. doi: 10.1016/j.dental.2015.03.010.
63. Marigo L, Spagnuolo G, Malara F, Martorana GE, Cordaro M, Lupi A, Nocca G. Relation between conversion degree and cytotoxicity of a flowable bulk-fill and three conventional flowable resin-composites. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2015 Dec;19(23):4469-80.
64. Khatri CA, Stansbury JW, Schultheisz CR, Antonucci JM. Synthesis, characterization and evaluation of urethane derivatives of Bis-GMA. *Dent Mater*. 2003 Nov;19(7):584-8. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(02\)00108-2](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(02)00108-2).

65. Hirata R, Clozza E, Giannini M, Farrokhmanesh E, Janal M, Tovar N, Bonfante EA, Coelho PG. Shrinkage assessment of low shrinkage composites using micro-computed tomography. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater*. 2015;103(4):798-806. doi: 10.1002/jbm.b.33258.
66. Ilie N, Stark K. Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. *J Dent*. 2014 Aug;42(8):977-85. doi: 10.1016/j.jdent.2014.05.012.
67. Ivoclar Vivadent. Ivocerin. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <http://www.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/23722/Update+1-2014>.
68. Nascimento AS, Lima DB, Fook MVL, Albuquerque MS, Lima EA, Sabino MA, Borges SMP, Filgueira PTD, Sousa YC, Braz R. Physicomechanical characterization and biological evaluation of bulk-fill composite resin. *Braz Oral Res*. 2018 Oct;32:e107. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0107.
69. Besegato JF, Jussiani EI, Andrello AC, Fernandes RV, Salomão FM, Vicentin BLS, Dezan-Garbelini CC, Hoepfner MG. Effect of light-curing protocols on the mechanical behavior of bulk-fill resin composites. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019 Feb;90:381-7. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.10.026.
70. Soares CJ, Bragança GF, Pereira RAS, Rodrigues MP, Braga SSL, Oliveira LRS, Giannini M, Price RB. Irradiance and radiant exposures delivered by LED light-curing units used by a left and right-handed operator. *Braz Dent J*. 2018 May-Jun;29(3):282-9. doi: 10.1590/0103-6440201802127.
71. Felix CA, Price RBT. The effect of distance from light source on light intensity from curing lights. *J Adhes Dent*. 2003 Winter;5(4):283-91.
72. Price RBT, Felix CM, Whalen JM. Factors affecting the energy delivered to simulated Class I and Class V preparations. *J Can Dent Assoc*. 2010;76:a94.
73. Knezevic A, Zeljezic D, Kopjar N, Tarle Z. Cytotoxicity of composite materials polymerized with LED curing units. *Oper Dent*. 2008 Jan-Feb;33(1):23-30. doi: 10.2341/07-16.

74. DeWald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res*. 1987 Mar;66(3):727-30. <https://doi.org/10.1177/00220345870660030401>.
75. Price RB, Rueggeberg FA, Harlow J, Sullivan B. Effect of mold type, diameter, and uncured composite removal method on depth of cure. *Clin Oral Investig*. 2016 Sep;20(7):1699-707. doi: 10.1007/s00784-015-1672-4.
76. ISO Standards. ISO 4049. Polymer based filling, restoration and luting materials. 3rd ed. Geneva: International Organization for Standardization; 2009. p. 14.
77. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu T-MG, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent*. 2008 Jul-Aug;33(4):408-12. doi: 10.2341/07-104.
78. Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva GF. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *J Esthet Restor Dent*. 2014;39(4):232-3. doi: 10.2341/12-484-L.
79. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: Is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater*. 2012 May;28(5):521-8. doi: 10.1016/j.dental.2012.02.002.
80. van Ende A, de Munck J, Lise DP, van Meerbeek B. Bulk-fill composites: a review of the current literature. *J Adhes Dent*. 2017;19(2):95-109. doi: 10.3290/j.jad.a38141.
81. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent*. 2004 Nov-Dec;29(6):698-704.
82. Yap AUJ, Pandya M, Toh WS. Depth of cure of contemporary bulk-fill resin-based composites. *Dent Mater J*. 2016;35(3):503-10. doi: 10.4012/dmj.2015-402.
83. El-Safty S, Akhtar R, Silikas N, Watts DC. Nanomechanical properties of dental resin-composites. *Dent Mater*. 2012 Dec;28(12):1292-300. doi: 10.1016/j.dental.2012.09.007.

84. Ilie N, Hickel R. Investigations on mechanical behaviour of dental composites. *Clin Oral Investig*. 2009 Dec;13(4):427-38. doi: 10.1007/s00784-009-0258-4.
85. Sadr A, Shimada Y, Lu H, Tagami J. The viscoelastic behavior of dental adhesives: a nanoindentation study. *Dent Mater*. 2009 Jan;25(1):13-9. doi: 10.1016/j.dental.2008.05.001.
86. Ilie N. Impact of light transmittance mode on polymerisation kinetics in bulk-fill resin-based composites. *J Dent*. 2017 Aug;63:51-9. doi: 10.1016/j.jdent.2017.05.017.
87. ISO Standards. ISO 14577. Metallic materials - instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 1: test method. Geneva: International Organization for Standardization; 2015. p. 1.
88. Shimokawa CAK, Turbino ML, Giannini M, Braga RR, Price RB. Effect of light curing units on the polymerization of bulk fill resin-based composites. *Dent Mater*. 2018 Aug;34(8):1211-21. doi: 10.1016/j.dental.2018.05.002.
89. Pereira R, Giorgi MCC, Lins RBE, Dias Theobaldo J, Lima DANL, Marchi GM, Aguiar FHB. Physical and photoelastic properties of bulk-fill and conventional composites. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2018 Dec;10:287-96. doi: 10.2147/CCIDE.S184660.
90. Pereira A. Influência da profundidade e de um processo de envelhecimento acelerado em propriedades de resinas bulk fill [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2017.
91. El-Safty S, Silikas N, Akhtar R, Watts DC. Nanoindentation creep versus bulk compressive creep of dental resin-composites. *Dent Mater*. 2012 Nov;28(11):1171-82. doi: 10.1016/j.dental.2012.08.012.
92. El-Safty S, Silikas N, Watts DC. Creep deformation of restorative resin-composites intended for bulk-fill placement. *Dent Mater*. 2012 Aug;28(8):928-35. doi: 10.1016/j.dental.2012.04.038.
93. Briscoe B, Fiori L, Pelillo E. Nano-indentation of polymeric surfaces. *J Phys D: Appl Phys*. 1998;31(19):2395-405.

94. Abe A, Youssef M, Turbino M. Effect of bleaching agents on the nanohardness of tooth enamel, composite resin, and the tooth-restoration interface. *Oper Dent*. 2016 Jan-Feb;41(1):44-52. doi: 10.2341/14-153-L.
95. Eweis A, Yap A, Yahya N. Comparison of flexural properties of bulk-fill restorative/flowable composites and their conventional counterparts. *Oper Dent*. 2019 Apr 29. doi: 10.2341/18-133-L.
96. Derchi G, Vano M, Ceseracciu L, Diaspro A, Salerno M. Stiffness effect of using polywave or monowave LED units for photo-curing different bulk fill composites. *Dent Mater J*. 2018 Sep;37(5):709-16. doi: 10.4012/dmj.2017-278.
97. Monterubbianesi R, Orsini G, Tosi G, Conti C, Librando V, Procaccini M, Putignano A. Spectroscopic and mechanical properties of a new generation of bulk fill composites. *Front Physiol*. 2016 Dec;7:652. doi: 10.3389/fphys.2016.00652.
98. Issa Y, Watts DC, Boyd D, Price RB. Effect of curing light emission spectrum on the nanohardness and elastic modulus of two bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2016 Apr;32(4):535-50. doi: 10.1016/j.dental.2015.12.017.
99. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res*. 1988 Jun;67(6):932-7. <https://doi.org/10.1177/00220345880670060801>.
100. Price RB, Whalen JM, Price TB, Felix CM, Fahey J. The effect of specimen temperature on the polymerization of a resin-composite. *Dent Mater*. 2011 Oct;27(10):983-9. doi: 10.1016/j.dental.2011.06.004.
101. Ferracane JL, Condon JR. In vitro evaluation of the marginal degradation of dental composites under simulated occlusal loading. *Dent Mater*. 1999 Jul;15(4):262-7. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(99\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(99)00045-7).
102. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent*. 2002 Jun;87(6):642-9. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.125179>.

103. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LVJ. Short glass fiber reinforced restorative composite resin with semi-inter penetrating polymer network matrix. *Dent Mater.* 2007 Nov;23(11):1356-62. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.11.017>.
104. Miyazaki CL, Medeiros IS, Santana IL, Matos JDR, Rodrigues Filho LE. Heat treatment of a direct composite resin: influence on flexural strength. *Braz Oral Res.* 2009 Jul-Sep;23(3):241-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-83242009000300004>.
105. Santana IL, Lodovici E, Matos JR, Medeiros IS, Miyazaki CL, Rodrigues-Filho LE. Effect of experimental heat treatment on mechanical properties of resin composites. *Braz Dent J.* 2009;20(3):205-10. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-64402009000300006>.
106. Finan L, Palin WM, Moskwa N, McGinley EL, Fleming GJP. The influence of irradiation potential on the degree of conversion and mechanical properties of two bulk-fill flowable RBC base materials. *Dent Mater.* 2013 Aug;29(8):906-12. doi: 10.1016/j.dental.2013.05.008.
107. Randolph LD, Palin WM, Leloup G, Leprince JG. Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dent Mater.* 2016 Dec;32(12):1586-99. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.034.
108. Drummond JL. Nanoindentation of dental composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2006 Jul;78(1):27-34. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30442>.
109. Leprince J, Palin WM, Mullier T, Devaux J, Vreven J, Leloup G. Investigating filler morphology and mechanical properties of new low-shrinkage resin composite types. *J Oral Rehabil.* 2010 May 1;37(5):364-76. doi: 10.1111/j.1365-2842.2010.02066.x.
110. Goncalves F, Kawano Y, Pfeifer C, Stansbury JW, Braga RR. Influence of BisGMA, TEGDMA, and BisEMA contents on viscosity, conversion, and flexural strength of experimental resins and composites. *Eur J Oral Sci.* 2009 Aug;117(4):442-6. doi: 10.1111/j.1600-0722.2009.00636.x.

111. Calheiros FC, Rueggeberg FA, Braga RR. Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA: TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008 Feb;84(2):503-9. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30897>.

112. Salgado VE, Cavalcante LM, Silikas N, Schneider LFJ. The influence of nanoscale inorganic content over optical and surface properties of model composites. *J Dent.* 2013 Nov;41 Suppl. 5:e45-53. doi: 10.1016/j.jdent.2013.05.011.

113. Santana I. Estudo da influência do tratamento por calor em propriedades mecânicas de resinas compostas [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2005.

114. Xu HHK, Quinn JB, Smith DT, Giuseppetti AA, Eichmiller FC. Effects of different whiskers on the reinforcement of dental resin composites. *Dent Mater.* 2003 Jul;19(5):359-67. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(02\)00078-7](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(02)00078-7).

115. Mahfuz H, Adnan A, Rangari VK, Jeelani S, Jang BZ. Carbon nanoparticles/whiskers reinforced composites and their tensile response. *Comp Part A: Appl Sci Manufacturing.* 2004 May;35(5):519-27. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.02.002>.

116. Tezvergil A, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of fiber orientation on the thermal expansion coefficients of fiber-reinforced composites. *Dent Mater.* 2003 Sep;19(6):471-7. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(02\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(02)00092-1).

117. Tezvergil A, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of fiber orientation on the polymerization shrinkage strain of fiber-reinforced composites. 2006 Jul;22(7):610-6. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.05.017>.

118. Garoushi S, Vallittu PK, Watts DC, Lassila LVJ. Polymerization shrinkage of experimental short glass fiber-reinforced composite with semi-inter penetrating polymer network matrix. *Dent Mater.* 2008 Feb;24(2):211-5. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.04.001>.

119. Garoushi SK, Lassila LVJ, Vallittu PK. Fiber-reinforced composite substructure: load-bearing capacity of an onlay restoration. *Acta Odontol Scand.* 2006 Oct;64(5):281-5. <https://doi.org/10.1080/00016350600700067>.

120. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L V. Fracture toughness, compressive strength and load-bearing capacity of short glass fibre-reinforced composite resin. *Chin J Dent Res.* 2011;14(1):15-9.
121. Fonseca RB, Marques AS, Bernades KDO, Carlo HL, Naves LZ. Effect of glass fiber incorporation on flexural properties of experimental composites. *Biomed Res Int.* 2014;2014:542678. doi: 10.1155/2014/542678.
122. Sidhu SK, Ikeda T, Omata Y, Fujita M, Sano H. Change of color and translucency by light curing in resin composites. *Oper Dent.* 2006 Sep-Oct;31(5):598-603. <https://doi.org/10.2341/05-109>.
123. Johnston WM, Reisbick MH. Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. *Dent Mater.* 1997 Mar;13(2):89-97. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(97\)80017-6](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(97)80017-6).
124. Arikawa H, Fujii K, Kanie T, Inoue K. Light transmittance characteristics of light-cured composite resins. *Dent Mater.* 1998 Nov;14(6):405-11. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(99\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(99)00014-7).
125. Kim J, Moon H, Lim B, Lee Y, Rhee S, Yang H. The effect of nanofiller on the opacity of experimental composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007 Feb;80(2):332-8. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30601>.
126. Archegas LRP, Freire A, Vieira S, Caldas DBDM, Souza EMH. Colour stability and opacity of resin cements and flowable composites for ceramic veneer luting after accelerated ageing. *J Dent.* 2011 Nov;39(11):804-10. doi: 10.1016/j.jdent.2011.08.013.
127. Sajnani A, Hegde MN, Shetty C. Optical properties of composites. *Int J Pharm Ther.* 2014;5(1):9-13.
128. Azzopardi N, Moharamzadeh K, Wood DJ, Martin N, van Noort R. Effect of resin matrix composition on the translucency of experimental dental composite resins. *Dent Mater.* 2009 Dec;25(12):1564-8. doi: 10.1016/j.dental.2009.07.011.
129. Lee YK. Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater.* 2008 Sep;24(9):1243-7. doi: 10.1016/j.dental.2008.01.014.

130. Barutçigil Ç, Barutçigil K, Özarslan MM, DüNDAR A, Yılmaz B. Color of bulk-fill composite resin restorative materials. *J Esthet Restor Dent*. 2018 Mar;30(2):E3-E8. doi: 10.1111/jerd.12340.
131. Yoon T, Lee Y, Kim C. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil*. 2002 Dec;29(12):1165-73. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2002.00970.x>.
132. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-curing units: a review of what we need to know. *J Dent Res*. 2015 Sep;94(9):1179-86. doi: 10.1177/0022034515594786.
133. Jandt KD, Mills RW. A brief history of LED photopolymerization. *Dent Mater*. 2013 Jun;29(6):605-17. doi: 10.1016/j.dental.2013.02.003.
134. Balestrino A, Tantbirojn D, García-Godoy F, Versluis A, Veríssimo C, Soares CJ. Heat generated during light-curing of restorative composites: effect of curing light, exotherm, and experiment substrate. *Am J Dent*. 2016 Aug;29(4):234-40.
135. ALShaafi MM, Haenel T, Sullivan B, Labrie D, Alqahtani MQ, Price RB. Effect of a broad-spectrum LED curing light on the Knoop microhardness of four posterior resin based composites at 2, 4 and 6-mm depths. *J Dent*. 2016 Feb;45:14-8. doi: 10.1016/j.jdent.2015.11.004.
136. SDI. Rádi Plus [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <https://www.sdi.com.au/pt-br/product/radii-plus/>.
137. Ivoclar Vivadent. Bluephase G2 [descrição de produto]. [201-] [citado 21 jul. 2019]. Disponível em: <https://www.ivoclarvivadent.com.br/zoolu-website/media/document/15826/Bluephase+G2>.
138. Jain L, Mehta D, Meena N, Gupta R. Influence of light energy density, composite type, composite thickness, and postcuring phase on degree of conversion of bulk-fill composites. *Contemp Clin Dent*. 2018 Jun;9(Suppl 1):S147-S152. doi: 10.4103/ccd.ccd\_169\_18.
139. AlQahtani M, Michaud P, Sullivan B, Labrie D, AlShaafi M, Price R. Effect of high irradiance on depth of cure of a conventional and a bulk fill resin-based composite. *Oper Dent*. 2015 Nov-Dec;40(6):662-72. doi: 10.2341/14-244-L.

140. Armellin E, Bovesecchi G, Coppa P, Pasquantonio G, Cerroni L. LED curing lights and temperature changes in different tooth sites. *Biomed Res Int.* 2016;2016:1894672. doi: 10.1155/2016/1894672.
141. Jakubinek MB, O'Neill C, Felix C, Price RB, White MA. Temperature excursions at the pulp-dentin junction during the curing of light-activated dental restorations. *Dent Mater.* 2008 Nov;24(11):1468-76. doi: 10.1016/j.dental.2008.03.012.
142. Gomes M, DeVito-Moraes A, Francci C, Moraes R, Pereira T, Froes-Salgado N, Yamazaki L, Silva L, Zezell D. Temperature increase at the light guide tip of 15 contemporary LED units and thermal variation at the pulpal floor of cavities: an infrared thermographic analysis. *Oper Dent.* 2013 May-Jun;38(3):324-33. doi: 10.2341/12-060-L.
143. Kim MJ, Kim RJY, Ferracane J, Lee IB. Thermographic analysis of the effect of composite type, layering method, and curing light on the temperature rise of photo-cured composites in tooth cavities. *Dent Mater.* 2017 Oct;33(10):e373-83. doi: 10.1016/j.dental.2017.07.007.
144. Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dent Mater.* 1992 Sep;8(5):290-5. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90102-I](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90102-I).
145. Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil.* 1994 Jul;21(4):441-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1994.tb01158.x>.
146. Loza-Herrero MA, Rueggeberg FA, Caughman WF, Schuster GS, Lefebvre CA, Gardner FM. Effect of heating delay on conversion and strength of a post-cured resin composite. *J Dent Res.* 1998 Feb;77(2):426-31. <https://doi.org/10.1177/00220345980770021201>.
147. Covey DA, Tahaney SR, Davenport JM. Mechanical properties of heat-treated composite resin restorative materials. *J Prosthet Dent.* 1992 Sep;68(3):458-61. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90410-C](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90410-C).
148. Daronch M, Moss L, Goes MFDE. Clinically relevant issues related to preheating composites. *J Esthet Restor Dent.* 2006;18(6):340-50. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2006.00046.x>.

149. Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA. Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. *J Prosthet Dent*. 2006 Dec;96(6):424-32. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.09.022>.
150. Miyazaki C. Caracterização térmica, grau de conversão, resistência à flexão e dureza de compósitos comerciais tratados termicamente [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2010.
151. Fonseca ASQS, Labruna Moreira AD, de Albuquerque PPAC, de Menezes LR, Pfeifer CS, Schneider LFJ. Effect of monomer type on the CC degree of conversion, water sorption and solubility, and color stability of model dental composites. *Dent Mater*. 2017 Apr;33(4):394-401. doi: 10.1016/j.dental.2017.01.010.
152. Albuquerque PPAC, Rodrigues EC, Schneider LF, Moraes RR, Cesar PF, Rodrigues Filho LE. Effect of an acidic sodium salt on the polymerization behavior of self-adhesive resin cements formulated with different adhesive monomers. *Dent Mater*. 2018 Sep;34(9):1359-66. doi: 10.1016/j.dental.2018.06.022.
153. Alania Y, Chiari MDS, Rodrigues MC, Arana-Chavez VE, Bressiani AHA, Vichi FM, Braga RR. Bioactive composites containing TEGDMA-functionalized calcium phosphate particles: degree of conversion, fracture strength and ion release evaluation. *Dent Mater*. 2016 Dec;32(12):e374-81. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.021.
154. Gonçalves F, Campos LMP, Rodrigues-Júnior EC, Costa FV, Marques PA, Francci CE, Braga RR, Boaro LCC. A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Braz Oral Res*. 2018 Mar 8;32:e17. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0017.
155. Salas M, Lucena C, Herrera LJ, Yebra A, Della Bona A, Pérez MM. Translucency thresholds for dental materials. *Dent Mater*. 2018 Aug;34(8):1168-74. doi: 10.1016/j.dental.2018.05.001.
156. Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent*. 2010;38 Suppl 2:e57-64. doi: 10.1016/j.jdent.2010.07.008.

157. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, Sakai M, Takahashi H, Tashkandi E, Del Mar Perez M. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2015 Mar-Apr;27 Suppl 1:S1-9. doi: 10.1111/jerd.12149.
158. Natale LC, Rodrigues MC, Alania Y, Chiari MDS, Vilela HS, Vieira DN, Arana-Chavez V, Meier MM, Vichi FM, Braga RR. Development of calcium phosphate/ethylene glycol dimethacrylate particles for dental applications. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater*. 2019 Apr;107(3):708-15. doi: 10.1002/jbm.b.34164.
159. Faria ACL, Benassi UM, Rodrigues RCS, Ribeiro RF, Mattos MGC. Analysis of the relationship between the surface hardness and wear resistance of indirect composites used as veneer materials. *Braz Dent J*. 2007;18(1):60-4. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-64402007000100013>.
160. Say EC, Civelek A, Ersoy M, Nobecourt A, Guleryuz C. Wear and microhardness of different resin composite materials. *Oper Dent*. 2003 Sep-Oct;28(5):628-34.
161. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater*. 2013 Sep;29(9):e213-7. doi: 10.1016/j.dental.2013.05.011.
162. Silva-Júnior ME, Lizarelli RFZ, Bagnato VS, Tonetto MR, Simões F, Borges ÁH, Bandéca MC, Andrade MF. Effect of the curing temperature of dental composites evaluated with a fluorescent dye. *J Contemp Dent Pract*. 2018 Jan;19(1):3-12. doi: 10.5005/jp-journals-10024-2204.
163. Trujillo M, Newman SM, Stansbury JW. Use of near-IR to monitor the influence of external heating on dental composite photopolymerization. *Dent Mater*. 2004 Oct;20(8):766-77. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.02.003>.
164. Shimokawa C, Sullivan B, Turbino M, Soares C, Price R. Influence of emission spectrum and irradiance on light curing of resin-based composites. *Oper Dent*. 2017 Sep/Oct;42(5):537-547. doi: 10.2341/16-349-L.
165. Hadis M, Leprince JG, Shortall AC, Devaux J, Leloup G, Palin WM. High irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin-based materials. *J Dent*. 2011 Aug;39(8):549-57. doi: 10.1016/j.jdent.2011.05.007.

166. Wendt S. Clinical evaluation of a heat-treated resin composite inlay: 3-year results. *Am J Dent.* 1992 Oct;5(5):258-62.
167. Wendt SLJ, Leinfelder KF. The clinical evaluation of heat-treated composite resin inlays. *J Am Dent Assoc.* 1990 Feb;120(2):177-81. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1990.0038>.
168. Lucey S, Lynch CD, Ray NJ, Burke FM, Hannigan A. Effect of pre-heating on the viscosity and microhardness of a resin composite. *J Oral Rehabil.* 2010 Apr;37(4):278-82. doi: 10.1111/j.1365-2842.2009.02045.x.
169. Bagis YH, Rueggeberg FA. The effect of post-cure heating on residual , unreacted monomer in a commercial resin composite. *Dent Mater.* 2000 Jul;16(4):244-7. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00006-3).
170. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig.* 2014 Nov;18(8):1991-2000. doi: 10.1007/s00784-013-1177-y.
171. Fujita K, Ikemi T, Nishiyama N. Effects of particle size of silica filler on polymerization conversion in a light-curing resin composite. *Dent Mater.* 2011 Nov;27(11):1079-85. doi: 10.1016/j.dental.2011.07.010.
172. Kamheya M, Gumustas B, Efes BG. Color stability of bulk-fill composites exposed to different beverages and the effect of whitening dentifrices. *Oral Health Care.* 2018;3(1):1-6. doi: 10.15761/OHC.1000136.
173. Borges MG, Soares CJ, Maia TS, Bicalho AA, Barbosa TP, Costa HL, Menezes MS. Effect of acidic drinks on shade matching, surface topography, and mechanical properties of conventional and bulk-fill composite resins. *J Prosthet Dent.* 2019 May;121(5):868.e1-868.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.02.006.
174. Janda R, Roulet JF, Kaminsky M, Steffin G, Latta M. Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. *Eur J Oral Sci.* 2004 Jun;112(3):280-5. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00125.x>.

175. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LES, Martin AA, Ambrosano G, Giannini M. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2015 Dec;31(12):1542-51. doi: 10.1016/j.dental.2015.10.001.
176. Campos EA, Ardu S, Lefever D, Jassé FF, Bortolotto T, Krejci I. Marginal adaptation of class II cavities restored with bulk-fill composites. *J Dent*. 2014 May;42(5):575-81. doi: 10.1016/j.jdent.2014.02.007.
177. Almeida Junior LJS, Penha KJS, Souza AF, Lula ECO, Magalhães FC, Lima DM, Firoozmand LM. Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A  $\mu$ CT study. *Braz Oral Res*. 2017 Dec 18;31:e100. doi: 10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0100.
178. Goncalves F, Boaro LCC, Mliyazaki CL, Kawano Y, Braga RR. Influence of polymeric matrix on the physical and chemical properties of experimental composites. *Braz Oral Res*. 2015;29(1):S1806-83242015000100307. doi: 10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0128.
179. Goncalves F, Azevedo CLN, Ferracane JL, Braga RR. BisGMA/TEGDMA ratio and filler content effects on shrinkage stress. *Dent Mater*. 2011 Jun;27(6):520-6. doi: 10.1016/j.dental.2011.01.007.
180. Gonçalves F, Pfeifer CCS, Stansbury JW, Newman SM, Braga RR. Influence of matrix composition on polymerization stress development of experimental composites. *Dent Mater*. 2010 Jul;26(7):697-703. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.014.
181. Han S, Park S. Comparison of internal adaptation in Class II bulk-fill composite restorations using micro-CT. *Oper Dent*. 2017 Mar/Apr;42(2):203-214. doi: 10.2341/16-023-L.
182. Dewaele M, Asmussen E, Peutzfeldt A, Munksgaard EC, Benetti AR, Finné G, Leloup G, Devaux J. Influence of curing protocol on selected properties of light-curing polymers: degree of conversion, volume contraction, elastic modulus, and glass transition temperature. *Dent Mater*. 2009 Dec;25(12):1576-84. doi: 10.1016/j.dental.2009.08.001.

183. Scribante A, Bollardi M, Chiesa M, Poggio C, Colombo M. Flexural properties and elastic modulus of different esthetic restorative materials: evaluation after exposure to acidic drink. *Biomed Res Int*. 2019 Feb;2019:5109481. doi: 10.1155/2019/5109481.
184. Rosa RS, Balbinot CEA, Blando E, Mota EG, Oshima HMS, Hirakata L, Pires LAG, Hübler R. Evaluation of mechanical properties on three nanofilled composites. *Stomatologija*. 2012;14(4):126-30.
185. Feng L, Suh BI, Shortall AC. Formation of gaps at the filler-resin interface induced by polymerization contraction stress. *Gaps at the interface. Dent Mater*. 2010 Aug;26(8):719-29. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.004.
186. Gee AJ, Pallav P, Werner A, Davidson CL. Annealing as a mechanism of increasing wear resistance of composites. *Dent Mater*. 1990 Oct;6(4):266-70. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(05\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(05)80008-9).
187. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater*. 2000 Sep;16(5):330-6. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00025-7).