



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Odontologia de Araçatuba

ISABELA DOS SANTOS DE DEUS

**Efeito do fotopolimerizador e tempo de fotoativação no
grau de conversão, dureza e plastificação de um
compósito**

Araçatuba - SP
2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Odontologia de Araçatuba

ISABELA DOS SANTOS DE DEUS

**Efeito do fotopolimerizador e tempo de fotoativação no
grau de conversão, dureza e plastificação de um
compósito**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Odontologia
de Araçatuba da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” –
UNESP, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Cirurgiã-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Catelan

Araçatuba - SP
2024

*Dedico este trabalho aos meus amados pais **Rosana Cristina dos Santos de Deus e João Marcelo de Deus** que, acima de tudo, sempre me amaram incondicionalmente e dedicaram todos os recursos que tinham disponíveis para que esse sonho fosse possível.*

Minha mãe, obrigada por ser a minha inspiração na vida, a cada passo da minha trajetória eu carrego seus ensinamentos e seu cuidado. Você é a mulher mais guerreira, batalhadora e forte que eu conheço, não existe palavra capaz de descrever a minha admiração pela senhora.

Meu pai, obrigada por ser a minha calma nas tempestades. Obrigada por sempre ter me incentivado a buscar o caminho do conhecimento, e por me mostrar que os estudos nos fazem alcançar caminhos inimagináveis. Sua inteligência e seu desempenho me encorajam a me dedicar ainda mais aos meus sonhos.

Dessa forma, eu só tenho a agradecer a vocês meus pais que diante de todos os esforços feitos durante esse período me fizeram experimentar ainda mais de todo esse amor que os pais podem dedicar a um filho, mesmo muitas vezes distantes fisicamente. Obrigada por terem me proporcionado um lar seguro, acolhedor e com muito amor para que eu estivesse pronta para trilhar os caminhos da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer a vocês meus irmãos amados João Felipe e Marcela, a vida foi muito boa quando permitiu o nosso encontro. Obrigada por serem para mim sinônimo de amor e acolhimento. É uma honra poder caminhar ao lado de vocês e dividir a vida com pessoas tão especiais as quais eu me orgulho tanto. Também gostaria de dizer o quanto sou grata a minha cunhada Amanda que está na nossa família há tantos anos e já foi nosso suporte em muitos momentos. Vocês são essenciais na minha caminhada e eu amo muito vocês!

Ao meu namorado Matheus, obrigada por toda dedicação, amor, carinho e companheirismo durante esses anos. Seu apoio e seu incentivo foram essenciais para que eu concluísse essa etapa com êxito.

À minha família, obrigada por sempre acreditarem em mim e por terem me incentivado com palavras de coragem e força, sou muito abençoada por ter vocês comigo.

Aos meus amigos, obrigada por sempre me mostrarem que o cuidado, amor e carinho não precisam estar ligados a laços sanguíneos, nunca serei grata o suficiente por tudo que vivenciei ao lado de vocês. Agradeço especialmente a minha amiga Tielly, que foi minha companheira de apartamento, e foi muito mais do que eu merecia e precisava durante esses anos, obrigada por sempre ter cuidado de mim e me fornecido todo o suporte, principalmente emocional para que eu conseguisse concluir essa etapa. Ao Arthur, obrigada por ser o melhor amigo que uma pessoa poderia encontrar, você sempre me incentivou, me apoiou e acreditou em mim desde o primeiro dia que me conheceu. À Vitória, obrigada por sempre ter feito questão de estar ao meu lado em todos os momentos, tanto nos acadêmicos quanto na vida, e por sempre ter me ouvido e me confortado com suas palavras. À Julia, obrigada por todos os momentos que compartilhamos nesses

anos por sempre ter me escutado e me apoiado nos momentos que precisei, ter você comigo nesse período foi essencial.

À **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, na pessoa do diretor da Faculdade de Odontologia de Araçatuba Prof. Alberto Carlos Botazzo Delbem e do vice-diretor Prof. Luciano Tavares Angelo Cintra.

Aos meus professores, obrigada por todo conhecimento compartilhado em todos esses anos e por terem despertado em mim o anseio pelo aprendizado. Dedico minha gratidão especialmente ao Professor Anderson Catelan por toda orientação durante esse período, por ser um profissional que sempre realiza seus feitos com dedicação demonstrando todo amor que tem pela profissão, obrigada pelo carinho e por sempre ter se dedicado tanto ao meu aprendizado. O senhor é uma inspiração para mim.

À Professora Aimée, o modo como a senhora se preocupa com seus alunos e a forma como conduz o aprendizado de uma maneira tão leve me inspiram na minha vida profissional, tenho uma enorme admiração pela senhora, obrigada por todos os ensinamentos compartilhados.

Ao Professor Douglas, que foi um presente que recebi no último ano da graduação. Agradeço por toda confiança que o senhor demonstra pelos seus alunos e principalmente, por exercer a profissão de uma forma tão calma sempre nos trazendo segurança. Obrigada pela oportunidade de aprender com um profissional excelente.

Ao Departamento de Odontologia Restauradora, área de Dentística, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Universidade Estadual de Campinas, pela disponibilização do espectrômetro de infravermelho usado no estudo.

“Na vida não existe nada a temer, mas a entender”

Marie Curie

RESUMO

DEUS, I. S. **Efeito do fotopolimerizador e tempo de fotoativação no grau de conversão, dureza e plastificação de um compósito.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2024.

O objetivo neste estudo foi avaliar o efeito do fotopolimerizador e do tempo de fotoativação no grau de conversão (GC), na dureza Knoop (DK) e na plastificação (P) na superfície de topo e base de um compósito odontológico. Quarenta espécimes ($n = 10$) cilíndricos (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) de uma resina composta nanoparticulada foram confeccionados. Os espécimes foram fotoativados pelo tempo de 20 ou 40 s usando um LED ("light-emitting diode") de 2ª geração ou um LED de 3ª geração, ambos com irradiância de 1200 mW/cm². O GC foi mensurado em um espectrômetro no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), a DK foi obtida usando um indentador Knoop com carga de 50 g por 15 s e a P foi calculada por meio da redução percentual da dureza após a imersão em álcool absoluto por 24 h à 37°C. Os dados de GC, DK e P foram analisados estatisticamente pela ANOVA três critérios em parcelas subdivididas e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). A superfície de topo e o tempo de fotoativação de 40 s apresentaram maior GC e DK comparado à base e ao tempo de 20 s, respectivamente. Para a superfície de topo, o tempo de fotoativação de 20 s promoveu maior P comparado ao fotoativação por 40 s. A superfície de topo apresentou menor P comparada à base quando fotoativada por 40 s. Conclui-se que as propriedades físicas avaliadas foram melhoradas com o maior tempo de fotoativação e na superfície de topo, não sendo afetadas pelas gerações dos LEDs testados.

Palavras-chave: Dureza. Fenômenos Físicos. Polimerização. Resinas Compostas.

ABSTRACT

DEUS, I. S. **Effect of the photoactivation device and the light curing time on the degree of conversion, hardness, and plasticization of a composite.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2024.

The aim in this study was to evaluate the effect of the light curing device and light curing time on the degree of conversion (DC), Knoop hardness (KH), and plasticization (P) on the top surface and bottom of a dental composite. Forty cylindrical specimens ($n = 10$) (5 mm in diameter and 2 mm in thickness) carried out of a nanofilled resin composite. Specimens were light cured for 20 or 40 s using a 2nd generation LED (light-emitting diode) or a 3rd generation LED, both with an irradiance of 1,200 mW/cm². DC was measured in a Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR), KH was obtained using a Knoop indenter with a load of 50 g for 15 s and P was calculated through the percentage reduction in hardness after immersion in absolute alcohol for 24 h at 37°C. DC, KH, and P data were statistically analyzed by three-way split plot ANOVA and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The top surface and the light curing time of 40 s showed higher DC and KH compared to the bottom and the time of 20 s, respectively. For the top surface, the light curing time of 20 s promoted higher P compared to light curing for 40 s. The top surface showed lower P compared to the bottom when light cured for 40 s. It is concluded that the physical properties evaluated were improved with longer light curing time and on the top surface, not being affected by the generations of LEDs tested.

Keywords: Composite Resins. Hardness. Physical Phenomena. Polymerization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média (desvio padrão) do grau de conversão (%) de acordo com a superfície avaliada, o fotopolimerizador e o tempo de fotoativação.	19
Tabela 2 - Média (desvio padrão) da dureza Knoop (Kgf/mm ²) de acordo com a superfície avaliada, o fotopolimerizador e o tempo de fotoativação.	20
Tabela 3 - Média (desvio padrão) da P (%DK _{Red}) de acordo com o tempo de fotoativação e a superfície avaliada.	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
ATR	Reflectância Total Atenuada
DK	Dureza Knoop
DK _{Inicial}	Dureza Knoop inicial
DK _{Final}	Dureza Knoop final
DK _{red}	Redução da dureza Knoop
FT-IR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
GC	Grau de conversão
LED	Diodo emissor de luz
NIR	Região do infravermelho próximo
P	Plastificação
R	Razão
SiC	Carboneto de silício

LISTA DE SÍMBOLOS

=	Igual
mm	Milímetros
s	Segundos
g	Gramas
h	Horas
°C	Graus celsius
α	Alpha
s	Segundos
nm	Nanômetro
mW/cm ²	MiliWatts por centímetro quadrado
C=C	Dupla ligação de carbono
C-C	Ligação simples de carbono
#	Granulação
%	Porcentagem
cm	Centímetros
-	Menos

/ Divisão

x Vezes

< Menor

> Maior

µm Micrômetro

Kgf/mm² Kilograma força por milímetro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	DELINAMENTO EXPERIMENTAL	16
3.2	CONFECCÃO DOS ESPÉCIMES	16
3.3	GRAU DE CONVERSÃO	17
3.4	DUREZA KNOOP	18
3.5	PLASTIFICAÇÃO	18
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
4	RESULTADOS	19
5	DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÃO	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A resina composta tem sido extensivamente usada em procedimentos restauradores diretos, devido à sua capacidade adesiva associada ao sistema adesivo, pela estética favorável por ser muito semelhante aos tecidos dentais,^{1,2} por apresentar similar módulo de elasticidade e adequada capacidade de distribuição de forças, que consequentemente reduzem o risco à fratura dos dentes restaurados com este material.^{1,3} Além disso, permite facilmente a realização de reparos sem necessidade de completa remoção da restauração deficiente, proporcionando um menor tempo clínico, mais conforto ao paciente e menor custo do procedimento.⁴⁻⁶

Entretanto, o sucesso das restaurações adesivas está intimamente ligado à união entre os materiais restauradores e os substratos dentais devido às ligações micromecânicas e/ou químicas que ocorrem entre eles,^{7,8} o que propicia maior durabilidade dessas restaurações e menor chance de falhas perante os esforços mastigatórios.⁷⁻⁹ Para isso, os materiais restauradores precisam apresentar adequadas propriedades mecânicas após o processo de fotoativação.^{10,11}

Com a evolução dos polímeros presentes nos compósitos resinosos foi necessário o desenvolvimento de fontes de luz com diferentes comprimentos de onda para que diferentes fotoiniciadores fossem atingidos dependendo do espectro de luz.¹²⁻¹⁴ Os aparelhos LED ("light-emitting diode", diodo emissor de luz) de segunda geração atuam em uma faixa de onda de 400 a 500 nm com uma intensidade de 500 a 1400 mW/cm², sendo muito eficazes na polimerização de materiais resinosos cujo fotoiniciador é a canforquinona. Já os LEDs "polywave" ou de terceira geração são capazes de alcançar irradiância de 3200 mW/cm², além de um espectro mais amplo (380 a 520 nm), o que propicia a ativação de diversos fotoiniciadores alternativos.¹⁵⁻¹⁷

A reação de polimerização das resinas compostas ocorre quando as duplas ligações de carbono (C=C) do monômero da matriz resinosa são convertidas em ligações simples (C-C) por meio das forças de Van der Waals formando uma rede reticulada, o polímero.¹⁸⁻²⁰ Desse modo as propriedades mecânicas das resinas compostas estão diretamente relacionados à composição monomérica, ao grau de conversão (GC) dos monômeros em polímeros e à densidade das cadeias cruzadas formadas, fornecendo dureza ao material para resistir às forças mastigatórias.²¹⁻²³

A densidade destas cadeias de ligações cruzadas proposta inicialmente por Asmussen & Peutzfeldt (2001)²⁴ pode ser estimada pela redução da dureza ocasionada pelo amolecimento do compósito após o armazenamento em álcool. Uma vez que, este solvente causa a plastificação (P) de materiais a base de resina pela lixiviação dos monômeros que não foram convertidos após a fotoativação e dos polímeros lineares pelo processo de eluição, permitindo a quantificação indireta da densidade das ligações cruzadas que estão presentes na resina composta após a imersão em etanol.^{25,26}

Sendo assim, a avaliação do GC de monômeros em polímeros, da dureza Knoop (DK) e da P do polímero são importantes para melhor entendimento do efeito das diferentes gerações de LEDs disponíveis no mercado odontológico, na superfície de topo e base de uma resina composta nanoparticulada que tem como fotoiniciador a canforquinona, uma vez que a irradiância não é uniforme nas pontes dos LEDs atuais, o que poderia impactar na qualidade da rede polimérica formada.²⁶

2 OBJETIVO

O objetivo neste estudo foi avaliar o efeito do fotopolimerizador (LEDs de 2ª e 3ª gerações) e tempo de fotoativação (20 e 40 s) na superfície de topo e base no GC, na DK e na P de uma resina composta nanoparticulada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

Unidades experimentais: 40 espécimes cilíndricos de compósito ($n = 10$).

Fatores em estudo:

Fotopolimerizador em dois níveis:

- LED de 2ª geração;
- LED de 3ª geração.

Tempo de fotoativação em dois níveis:

- 20 s;
- 40 s.

Superfície avaliada em dois níveis:

- Topo;
- Base.

Variáveis de resposta: GC, DK e P.

Forma de designação: processo aleatório por meio de sorteio.

3.2 Confeção dos espécimes

Para a confecção dos espécimes ($n = 10$) uma matriz de politetrafluoretileno (Teflon) foi usada, com 5 mm de diâmetro interno e 2 mm de espessura. Sobre uma placa de vidro foi colocada uma tira de poliéster e sobre esta foi posicionada a matriz de teflon, então a resina composta (Filtek Z350, cor A2B; 3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA) foi inserida em um único incremento e uma nova tira de poliéster foi colocada sobre a matriz. Para planificar a superfície, remover o excesso de material e prevenir a formação de bolhas, o conjunto foi pressionado com um peso de 500 g e mantido por 1 min.

A ponteira dos fotopolimerizadores foi posicionada encostada à tira de poliéster da superfície de topo e a fotoativação foi realizada durante 20 s ou 40 s usando um LED de segunda geração Bluephase 16i (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ou terceira geração Bluephase N (Ivoclar Vivadent), ambos com 1200 mW/cm² de irradiância, monitorada com um radiômetro (modelo 100; Kerr Demetron, Danbury, CT, EUA).

Em seguida, os espécimes foram removidos da matriz e armazenados durante 24 h secos em um frasco à prova de luz em temperatura de 37°C. Decorrido esse período, a superfície de topo e base dos espécimes foram polidos com lixa abrasiva de carbeto de silício (SiC) com granulometria #1200 (CarbiMet 2 Discos Abrasivos; Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), durante 30 s usando uma politriz rotativa (Aropol E; Arotec S/A Ind. e Com., Cotia, SP, Brasil).

3.3 Grau de Conversão

Para a mensuração do GC em porcentagem nesta metodologia, é necessária a obtenção do espectro de absorção do material não polimerizado e polimerizado. Inicialmente, a resina composta não polimerizada foi colocada sobre o dispositivo de ATR ("Attenuated Total Reflectance", Reflectância Total Atenuada), o qual possui um cristal horizontal de Seleneto de Zinco (PIKE Technologies, Madison, WI, EUA). Os espectros de absorção do material não polimerizado foram obtidos por meio de um espectrômetro no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR; Spectrum 100 Optica, PerkinElmer, Waltham, MA, EUA) pelo método de absorbância, com 16 varreduras e 4 cm⁻¹ de resolução, na região do infravermelho próximo (NIR, "Near-Infrared Region") do espectro eletromagnético. Para análise do espectro foi considerado o intervalo de 1590 a 1660 cm⁻¹, para observações em 1610 e 1640 cm⁻¹, sinalizando, respectivamente, as ligações vinílicas aromáticas do bisfenol e alifáticas do grupamento funcional metacrilato.²⁶ Então foram obtidos os espectros da superfície de topo e base dos espécimes polimerizados, utilizando-se os mesmos critérios para o material não polimerizado. O GC (%) foi calculado a partir da seguinte equação: $GC (\%) = [1 - (R_{polimerizado}/R_{não\ polimerizado})] \times 100$, na qual R representa a razão entre o pico de absorbância em 1640 cm⁻¹ e em 1610 cm⁻¹.²⁶

3.4 Dureza Knoop

A leitura de DK inicial foi obtida em um microdurômetro digital (HMV-2T, Shimadzu, Tóquio, Japão), usando um indentador Knoop com carga de 50 g aplicado durante 15 s.²⁵ Cinco indentações foram realizadas em cada superfície (topo e base), a primeira no centro da amostra e mais quatro a 100 µm de distância desta. A média dos 5 valores obtidos foi considerada o DK de cada espécime de acordo com cada superfície.²⁵

3.5 Plastificação

A P foi obtida por meio da redução percentual de dureza Knoop (%DK_{Red}) sofrida na superfície da em decorrência de sua exposição ao álcool.²⁵ Após as leituras iniciais de dureza (DK_{Inicial}), os espécimes foram imersos por 24 h em etanol absoluto P.A. (Labsynth, Diadema, SP, Brasil) e uma nova leitura de dureza (DK_{Final}) foi realizada na superfície de topo e na base dos mesmos. Cinco indentações foram novamente procedidas, com a carga e o tempo (50 g por 15 s) previamente empregados.²⁵ As leituras iniciais e finais foram realizadas pelo mesmo operador, as quais foram tabuladas e, então, calculou-se a redução percentual no valor de dureza de acordo com a fórmula seguinte: $\%DK_{Red} = 100 - [(DK_{Final} \times 100) / DK_{Inicial}]$, na qual DK_{Final} representa a dureza final após imersão em etanol e DK_{Inicial} o valor de dureza inicial antes da imersão em etanol.²⁶

3.6 Análise Estatística

Inicialmente, a normalidade e a homogeneidade dos dados de grau de conversão, dureza Knoop e plastificação foram verificadas. Então, os dados foram analisados estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA) três critérios em parcelas subdivididas para a superfície avaliada (topo e base), seguido pelo teste de Tukey para as comparações múltiplas. Para todos os testes o nível de significância usado foi 5% (Assistat 7.7, Campina Grande, PB, Brasil).

4 RESULTADOS

Para o GC, a ANOVA mostrou diferença significativa apenas para os fatores "tempo de fotoativação" ($p < 0,0001$) e "superfície avaliada" ($p < 0,0001$). O fator "fotopolimerizador" ($p = 0,0542$) e as interações dos fatores não mostraram diferença significativa ($p > 0,05$). O tempo de fotoativação de 40 s e a superfície de topo apresentaram maior GC comparado ao tempo de 20 s e à base, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Média (desvio padrão) do grau de conversão (%) de acordo com a superfície avaliada, o fotopolimerizador e o tempo de fotoativação.

Superfície	Fotopolimerizador	Tempo de fotoativação		Dados agrupados
		20 s	40 s	
Topo	2ª geração [#]	57,66 (2,98)	60,35 (1,54)	59,22 (2,39) a
	3ª geração	57,96 (1,35)	60,90 (1,64)	
Base	2ª geração [#]	53,66 (2,25)	57,01 (0,92)	55,91 (2,20) b
	3ª geração	55,70 (1,82)	57,25 (1,65)	
Dados agrupados		56,24 (2,73) B	58,88 (2,27) A	

*Letras distintas maiúsculas comparam os tempos de fotoativação e letras minúsculas distintas comparam as superfícies avaliadas, indicando diferença significativa ($p < 0,05$). [#]Não houve diferença significativa entre os LEDs ($p = 0,0542$).

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Para a DK, a ANOVA também mostrou diferença significativa apenas para os fatores "tempo de fotoativação" ($p < 0,0001$) e "superfície avaliada" ($p < 0,0001$). O fator "fotopolimerizador" ($p = 0,2609$) e as interações dos fatores não mostraram diferença significativa ($p > 0,05$). O tempo de fotoativação de 40 s e a superfície de topo apresentaram maior DK comparado ao tempo de 20 s e à base, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Média (desvio padrão) da dureza Knoop (Kgf/mm²) de acordo com a superfície avaliada, o fotopolimerizador e o tempo de fotoativação.

Superfície	Fotopolimerizador [#]	Tempo de fotoativação		Dados agrupados
		20 s	40 s	
Topo	2ª geração [#]	55,25 (1,58)	58,55 (1,83)	57,32 (2,55) a
	3ª geração	55,85 (2,07)	59,61 (1,85)	
Base	2ª geração [#]	47,57 (2,02)	50,48 (1,82)	49,22 (2,35) b
	3ª geração	47,92 (1,92)	50,93 (1,70)	
Dados agrupados		51,65 (4,37) B	54,89 (4,60) A	

*Letras distintas maiúsculas comparam os tempos de fotoativação e letras minúsculas distintas comparam as superfícies avaliadas, indicando diferença significativa ($p < 0,05$). [#]Não houve diferença significativa entre os LEDs ($p = 0,2609$).

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Para a P, a ANOVA mostrou diferença significativa para os fatores "tempo de fotoativação" ($p = 0,0061$) e "superfície avaliada" ($p < 0,0001$), bem como para interação destes fatores ($p = 0,0238$). O fator "fotopolimerizador" ($p = 0,1643$) e as interações dos fatores não mostraram diferença significativa ($p > 0,05$). Para a superfície de topo, o tempo de fotoativação de 20 s promoveu maior P comparado ao fotoativação por 40 s. A superfície de topo apresentou menor P comparada à base quando fotoativada por 40 s (Tabela 3).

Tabela 3 - Média (desvio padrão) da P (%DK_{Red}) de acordo com o tempo de fotoativação e a superfície avaliada.

Tempo de fotoativação	Superfície		Dados agrupados
	Topo	Base	
20 s	38,49 (2,84) aA	40,35 (3,30) aA	39,42 (3,18) a
40 s	34,67 (3,70) bB	39,42 (3,67) aA	37,04 (4,36) b
Dados agrupados	36,58 (3,79) B	39,88 (3,48) A	

*Letras distintas maiúsculas comparam as superfícies avaliadas e letras minúsculas distintas comparam os tempos de fotoativação, indicando diferença significativa (p < 0,05).

Fonte: elaborado pela autora (2024)

5 DISCUSSÃO

As resinas compostas têm sido rotineiramente e amplamente usadas para restaurar dentes anteriores e posteriores pela técnica direta, uma vez que as restaurações em resina composta têm demonstrado alta taxa de sucesso clínico em longo prazo.^{27,28} Este estudo "in vitro" avaliou o efeito da geração do LED e do tempo de fotoativação no GC, na DK e na P na superfície de topo e base de um compósito nanoparticulado. Para polimerização adequada de incrementos de resina composta com 2 mm de espessura, uma densidade de energia de 21 - 24 J/cm² é recomendada,²⁹ sendo este um importante parâmetro, que considera a irradiância fornecida pelo fotopolimerizador multiplicada pelo tempo de fotoativação.²⁹⁻³⁰ Desta forma, como ambos os aparelhos de fotoativação LED testados possuem a mesma irradiância (1200 mW/cm²), a densidade de energia recebida pelo compósito foi de 24 e 48 J/cm² quando fotoativado por 20 e 40 s, respectivamente.

Apesar da fotoativação com ambos os LEDs por 20 s já fornecer 24 J/cm² de densidade de energia, ou seja, dentro da faixa recomendada para polimerização adequada de incrementos de 2 mm de compósito,²⁹ o dobro do tempo de exposição (40 s) recomendado pelo fabricante aumentou de forma significativa os valores de GC e DK, além de reduzir a P após a imersão em etanol. É reportado que o GC está relacionado ao desempenho clínico de materiais resinosos e às propriedades mecânicas, como a dureza;^{30,31} sendo afetado pela composição química da matriz orgânica, tipo de carga, quantidade, tamanho, distribuição, fotoiniciadores usados, tonalidade da resina composta, tempo de fotoativação, intensidade de luz, modo de polimerização, tamanho da ponta de luz, entre outros.³⁰

O maior tempo de ativação pela luz do fotopolimerizador propicia o aumento da conversão de monômeros em polímeros, devido à maior densidade de energia fornecida para que a reação de polimerização ocorra.³¹ Além disso, a alta irradiância obtida pelos LEDs testados, propicia mais centros de crescimento e tendência de formar um polímero mais ramificado.²⁴ Entretanto, o GC sozinho não permite a caracterização da estrutura tridimensional do compósito a base de resina, uma vez que no mesmo polímero áreas com diferentes concentrações de ligações duplas de carbono, monômeros residuais e grupos pendentes coexistem.³² Valores similares de conversão de monômeros em polímeros pode resultar em diferentes quantidades de

polímeros lineares, que são mais suscetíveis ao amolecimento do que um polímero mais reticulado, com maior densidade de ligações cruzadas.²⁵

O ambiente aquoso pode causar amolecimento da resina composta pelo inchaço da rede polimérica e redução das forças de atrito entre as cadeias poliméricas, resultando em menores valores de dureza.³² Além disso, o polímero com menor densidade de ligações cruzadas é mais suscetível ao efeito da P por substâncias químicas durante a alimentação e a ingestão de bebidas.³³ O tempo de fotoativação estendido na superfície de topo do espécime possivelmente aumentou a reticulação na superfície do material, o que resultou em menor redução da dureza após o armazenamento em álcool absoluto por 24 h.

A base do espécime apresentou menor GC, DK e maior P do que a superfície de topo. A intensidade de luz que atinge a superfície do material diminui ao passar através do compósito, pois parte da mesma é absorvida pelos fotoiniciadores e pigmentos.²⁶ Aliado a isto, o tamanho e a geometria das partículas de carga também podem impactar na dispersão e refração da luz na interface matriz resinosa-carga, impactando negativamente na polimerização da porção mais profunda do espécime.²⁶ Ademais, o tamanho, o tipo e a distribuição das partículas de carga podem impactar na mobilidade dos monômeros, pois podem restringir a difusão de radicais livres,²⁴ e consequentemente diminuir as propriedades físicas.

O tipo de fotopolimerizador não afetou as propriedades físicas avaliadas, apesar do aparelho de fotoativação de terceira geração apresentar uma maior abrangência no comprimento de onda e por isso ser considerado um LED "polywave",¹⁵⁻¹⁷ este espectro de luz mais amplo não impactou de forma significativa na conversão dos monômeros em polímeros e consequente nas propriedades mecânicas. É importante salientar que a resina composta testada possui como fotoiniciador a canforquinona, uma alfa-dicetona que possui reação Norrish tipo II e necessita de um co-iniciador, como uma amina terciária para que a reação de polimerização ocorra. A canforquinona possui faixa de absorção na faixa da luz azul emitida pelos chips do LED "monowave" de segunda geração,²⁶ com pico de absorção máximo em 468 nm.²⁹ Desta forma, os chips adicionais do LED "polywave" na faixa do violeta 380 - 420 nm²⁶ não alteraram os valores de GC, KH e P.

Apesar de ser reportado que pode haver uma distribuição não uniforme da irradiância pela ponta emissora de luz do aparelho de fotoativação,²⁶ possivelmente a colimação eficiente dos fotopolimerizadores usados neste estudo permitiu uma

polimerização adequada e relativamente uniforme, em parte pela irradiância ser similar de ambos os aparelhos; pois a distribuição não uniforme da irradiância pode resultar em discrepâncias localizadas na ativação do fotoiniciador, na produção de radicais livres e nas taxas da reação de cura.²⁶

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os valores de grau de conversão dos monômeros em polímeros e a dureza de superfície foram aumentados e a plastificação da resina composta após a imersão em etanol foi reduzida com o maior tempo de fotoativação e na superfície de topo, não sendo afetadas pelas gerações dos LEDs testados.

REFERÊNCIAS

1. SAKAI, T. *et al.* Multi-scale analysis of the influence of filler shapes on the mechanical performance of resin composites using high resolution nano-CT images. **Dental Materials**, v. 37, n. 1, p. 168-174, 2021.
2. BOMPOLAKI, D.; LUBISICH, E. B.; FUGOLIN, A. P. Resin-based composites for direct and indirect restorations. **Dental Clinics of North America**, v. 66, n. 4, p. 517-536, 2022.
3. ILIE, N. Microstructural dependence of mechanical properties and their relationship in modern resin-based composite materials. **Journal of Dentistry**, v. 114, p. 103829, 2021.
4. YIN, H. *et al.* Performance of universal adhesives in composite resin repair. **BioMed Research International**, v. 2022, p. 1-8, 2022.
5. MACEDO NETO, H. N. M. *et al.* Effect of surface treatments on bond strength of resin composite repair. **Journal of Dentistry**, v. 140, p. 104737, 2024.
6. CUEVAS-SUÁREZ, C. E. *et al.* Repair bond strength of bulk-fill resin composite: Effect of different adhesive protocols. **Dental Materials Journal**, v. 39, n. 2, p. 236-241, 2020.
7. ISLAM, M. S. *et al.* In vitro optical and physical stability of resin composite materials with different filler characteristics. **Polymers**, v. 15, n. 9, p. 2121, 2023.
8. MIZUTANI, K. *et al.* Flexural properties and polished surface characteristics of a structural colored resin composite. **Operative Dentistry**, v. 46, n. 3, p. E117-E131, 2021.
9. TAKAMIZAWA, T. *et al.* Handling properties and surface characteristics of universal resin composites. **Dental Materials**, v. 37, n. 9, p. 1390-1401, 2021.
10. LEE, C. H. FERRACANE, J.; LEE, I. B. Effect of pulse width modulation-controlled LED light on the polymerization of dental composites. **Dental Materials**, v. 34, n. 12, p. 1836-1845, 2018.
11. LIU, X. *et al.* Preparation and characterization of silane-modified SiO₂ particles reinforced resin composites with fluorinated acrylate polymer. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 80, p. 11-19, 2018.
12. SHIMOKAWA, C. A. K. *et al.* Effect of curing light and exposure time on the polymerization of bulk-fill resin-based composites in molar teeth. **Operative Dentistry**, v. 45, n. 3, p. E141-E155, 2020.
13. MAYTA-TOVALINO, F. *et al.* Effects of different light-curing modes on the compressive strengths of nanohybrid resin-based composites: a comparative in vitro study. **Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry**, v. 11, n. 2, p. 184, 2021.

14. BESEGATO, J. F. *et al.* Effect of light-curing protocols on the mechanical behavior of bulk-fill resin composites. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 90, p. 381-387, 2019.
15. NASSAR, H.; ALMUTAIRI, M.; MAKHDOM, A. Irradiance of different curing modes of common light cure devices: an in vitro study. **Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry**, v. 10, n. 2, p. 177, 2020.
16. AQUINO VALVERDE, A. J. Efectividad de fotopolimerización usando lámparas led: una revisión de la literatura. **Revista Científica Odontológica**, v. 10, n. 3, p. e120, 2022.
17. TOPA-SKWARCZYŃSKA, M. *et al.* High-performance photoinitiating systems for new generation dental fillings. **Dental Materials**, v. 39, n. 8, p. 729-742, 2023.
18. GROHMANN, C. V. S. *et al.* Effect of a polymerization inhibitor on the chemomechanical properties and consistency of experimental resin composites. **Brazilian Dental Journal**, v. 33, n. 3, p. 92-98, 2022.
19. DE LEÓN, E. *et al.* Efecto de la intensidad de las unidades de fotopolimerización sobre la biocompatibilidad y resistencia a la flexión de una resina compuesta. **Odontoestomatología**, v. 24, n. 40, p. e222, 2023.
20. BARRETO, R. O. GAYOSSO, C. Á.; IBARRA, J. G. Fotopolimerización de resinas compuestas através de diversos espesores de tejido dental. **Revista Odontológica Mexicana**, v. 19, n. 4, p. 222-227, 2015.
21. XU, T. *et al.* Polymerization shrinkage kinetics and degree of conversion of resin composites. **Journal of Oral Science**, v. 62, n. 3, p. 275-280, 2020.
22. BALKAYA, H.; ARSLAN, S.; PALA, K. A randomized, prospective clinical study evaluating effectiveness of a bulk-fill composite resin, a conventional composite resin and a reinforced glass ionomer in Class II cavities: one-year results. **Journal of Applied Oral Science**, v. 27, p. e20180678, 2019.
23. COSTA, M. P. *et al.* Analysis of color stability and degree of conversion of different types of resin composites. **Brazilian Oral Research**, v. 38, p. e003, 2024.
24. ASMUSSEN, E.; PEUTZFELD, A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. **Journal of Dental Research**, v. 80, n. 6, p. 1570-1573, 2001.
25. SCHNEIDER, L. F. *et al.* Cross-link density evaluation through softening tests: effect of ethanol concentration. **Dental Materials**, v. 24, n. 2, p. 199-203, 2008.
26. AL-ZAIN, A. O. *et al.* Polymerization pattern characterization within a resin-based composite cured using different curing units at two distances. **Clinical Oral Investigations**, v. 23, n. 11, p. 3995-4010, 2019.

27. BORGIA, E.; BARON, R.; BORGIA, J. L. Quality and survival of direct light activated composite resin restorations in posterior teeth: a 5 to 20 year retrospective longitudinal study. **Journal of Prosthodontics**, v. 28, n. 1, p. e195-e203, 2019.
28. ROSA RODOLPHO, P. A. *et al.* Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. **Dental Materials**, v. 38, n. 4, p. 680–688, 2022.
29. EMAMI, N.; SÖDERHOLM, K. J. M. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light cured resin composites. **European Journal of Oral Sciences**, v. 111, n. 6, p. 536-542, 2003.
30. JAIN, L. *et al.* Influence of light energy density, composite type, composite thickness, and postcuring phase on degree of conversion of bulk-fill composites. **Contemporary Clinical Dentistry**, v. 9, n. 5, p. 147, 2018.
31. KUKIATTRAKOON, B.; TANTHANUCH, S. The effect of curing time by conventional quartz tungsten halogens and new light-emitting diodes light curing units on degree of conversion and microhardness of a nanohybrid resin composite. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 22, n. 2, p. 196, 2019.
32. KUSGOZ, A. *et al.* Silorane-based composite: depth of cure, surface hardness, degree of conversion, and cervical microleakage in class II cavities: Silorane-based composite. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 23, n. 5, p. 324-335, 2011.
33. FERRACANE, J. L. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. **Dental Materials**, v. 22, n. 3, p. 211-222, 2006.