



Investigação original

Análise da rugosidade de superfície e da microdureza de 6 resinas compostas



Joana Cruz*, Tiago Sousa, Alexandre Cavalheiro, Ana Pequeno, Bernardo Romão e Catarina Coito

Dentisteria Operatória, Faculdade de Medicina Dentária, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 4 de maio de 2015
Aceite a 30 de novembro de 2015
On-line a 28 de fevereiro de 2016

Palavras-chave:

Microscopia de força atómica
Resinas compostas
Dureza

R E S U M O

Objetivos: Caracterizar e comparar as resinas compostas dentina e esmalte de 3 marcas comerciais (XRV Herculite®, Herculite® XRV Ultra e Enamel Plus Hri®) através da análise da microdureza e rugosidade de superfície.

Métodos: Foram preparados 60 (n = 10) discos de compósito, utilizando um molde de silicone, para análise em rugosímetro. Prepararam-se, também, 72 discos, utilizando um molde de plástico. Destes, 60 foram submetidos a análise da microdureza (n = 10) e 12 foram analisados no microscópio de força atómica (AFM) (n = 2). Os espécimes para análise de superfície foram submetidos a polimento, com sistema Jiffy® Polisher numa sequência de 3 borraças, durante 90 segundos cada, sob refrigeração com água. Para a análise da microdureza efetuou-se o teste de Knoop. Realizaram-se 5 indentações por espécime, com uma carga de 50 g e tempo de penetração de 5 segundos. A análise de superfície foi realizada com recurso a um rugosímetro e a um AFM. Os dados, exceptuando os do AFM, foram submetidos a um teste ANOVA com $p \leq 0,05$.

Resultados: Na análise da microdureza, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre o Enamel Plus Hri® dentina e o XRV Herculite® dentina. Contudo, verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o Enamel Plus Hri® dentina e os restantes. Nos valores de rugosidade, não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Conclusões: O Enamel Plus Hri® apresentou uma microdureza superior aos restantes. Todos os compósitos apresentaram valores de rugosidade superiores aos valores citados na literatura como sendo ideais.

© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Este é um artigo

Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondência.

Correio eletrónico: joanacruz2@gmail.com (J. Cruz).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rpemd.2015.11.010>

1646-2890/© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Surface roughness analysis and microhardness of six resin composites

A B S T R A C T

Keywords:

Atomic force microscopy
Composite Resins
Hardness

Objective: Characterize and compare the enamel and dentin resin composites of three different commercial brands (XRV Herculite[®], Herculite[®] XRV Ultra and Enamel Plus Hri[®]) through the analysis of its microhardness and surface roughness.

Methods: Using a silicone mould, 60 resin composite discs were prepared and analysed with a rugosimeter. Additionally, 72 other discs were prepared using a plastic caster. Of these, 60 were submitted to microhardness evaluation ($n=10$), and the remaining 12 were analysed by atomic force microscopy (AFM) ($n=2$). The specimens prepared for surface evaluation were finished and polished with the Jiffy[®] Polisher system, consisting of a sequence of three polishing rubber points; each rubber was used for 90 seconds under water refrigeration. The Knoop test was chosen for the microhardness assessment. Five indentations were performed by specimen with a load of 50 g for 5 seconds. The surface was examined with a rugosimeter and an atomic force microscope. The data, except for the AFM, were subjected to a one-way ANOVA with $p \leq 0.05$.

Results: In the analysis of microhardness, there was no statistically significant difference ($p > 0.05$) between the dentin Enamel Plus Hri[®] and XRV Herculite[®]. On the other hand, the difference found between the dentin Enamel Plus Hri[®] and the other composites was statistically significant ($p < 0.05$). There was no statistically significant difference ($p > 0.05$) between the roughness values obtained.

Conclusion: The Enamel Plus Hri[®] had a higher microhardness than the other composites evaluated. All of them presented roughness values higher than those mentioned in the literature as ideal.

© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Ao longo dos últimos anos tem existido uma grande melhoria das características físicas e químicas das resinas compostas, nomeadamente no que respeita à quantidade, morfologia, distribuição, composição química e tamanho das partículas de carga inorgânicas^{1,2}.

A existência de uma grande diversidade de resinas compostas estéticas no mercado dificulta a sua seleção pelos clínicos³. Para que o possam fazer de forma informada e consciente, é importante avaliar as suas diferentes características e propriedades^{3,4}.

O desenvolvimento de resinas compostas micro-híbridas e nano-híbridas procura a obtenção de uma resina que possa ser utilizada em todas as situações clínicas, quer posteriores quer anteriores, que apresente boas qualidades estéticas e de polimento, e ainda excelentes propriedades mecânicas⁵.

Uma das propriedades mecânicas que mais influência tem na durabilidade de uma restauração é a dureza⁶. A dureza pode ser definida como a resistência à indentação ou à penetração permanente da superfície, e é um indicativo da facilidade de acabamento de um material e da sua resistência à abrasão⁶⁻⁹. É desejável que os materiais utilizados para as restaurações possuam a mesma microdureza que os tecidos dentários, sendo que o esmalte apresenta maiores valores de microdureza do que a dentina¹⁰. Os valores de dureza Knoop citados na literatura para o esmalte variam entre 272-440 KHN e para a dentina variam entre 50-70 KHN¹⁰.

Para além da dureza, a longevidade clínica de uma restauração está, também, diretamente relacionada com a rugosidade do material¹¹. Para o sucesso de uma restauração, é fundamental que a resina composta apresente uma baixa rugosidade de superfície¹².

A rugosidade pode ser definida como a existência de irregularidades na superfície de um material e está dependente dos instrumentos que atuam sobre ele, bem como das suas próprias características¹³. Estas irregularidades, quando iguais ou superiores a $0,2 \mu\text{m}$ ^{11,13,14}, podem conduzir a manchas, maior desgaste, retenção de placa bacteriana, irritação gengival e cárie secundária¹⁵. Assim, o desejável é obter uma superfície lisa, uma vez que aumenta a durabilidade da restauração, melhora a aparência estética e evita a alteração de cor¹⁶.

A rugosidade de superfície é influenciada pelo tipo, tamanho e quantidade de carga das resinas compostas, bem como pelo tipo, tamanho e dureza dos instrumentos abrasivos de polimento, e, também, pela técnica de polimento utilizada¹⁷. Por isso, um dos fatores extrínsecos fulcrais para a estética e longevidade da restauração é o polimento¹⁸⁻²⁰.

Alguns dos métodos para testar a dureza dos materiais restauradores são os testes de Brinell, Knoop, Vickers, Rockwell e Barcol¹⁹. Existem também vários métodos para avaliar a rugosidade de superfície dos materiais, contudo, os mais utilizados, atualmente, são o microscópio de força atômica (AFM) e o rugosímetro¹⁸.

O AFM é a técnica mais utilizada para caracterizar a superfície dos materiais, uma vez que permite a obtenção de imagens a 3 dimensões (3D), permitindo quantificar a rugosidade de

superfície numa escala nanométrica^{21,22}. Assim, a rugosidade superficial é determinada com alta precisão²².

O rugosímetro mede irregularidades de alta frequência na superfície de um material²³. A rugosidade média (Ra) é o parâmetro utilizado para a análise da superfície²⁴.

O objetivo deste estudo laboratorial é caracterizar e comparar resinas compostas dentina e esmalte de 3 marcas comerciais, através da análise da microdureza e rugosidade de superfície. Foram estabelecidas as seguintes hipóteses nulas: H₀ = as resinas testadas, não apresentam alterações entre si nos valores de microdureza; H₀ = as resinas testadas, não apresentam alterações entre si nos valores de rugosidade.

Materiais e métodos

Neste estudo, foram testadas 6 resinas compostas fotopolimerizáveis, de 3 marcas comerciais: XRV Herculite[®] dentina e esmalte (Kerr Italia, Scafati, Itália), Herculite[®] XRV Ultra dentina e esmalte (Kerr Italia, Scafati, Itália), Enamel Plus Hri[®] dentina e esmalte (GDF GmbH, Rosbach, Alemanha). A caracterização dos compósitos utilizados encontra-se referida na [tabela 1](#).

Foram preparados 60 discos de compósito (n=10), utilizando um molde de silicone (Putty Prestige[®], Vannini Dental Industry, Grassina, Itália), com 10 mm de diâmetro e 2 mm de profundidade, para análise no rugosímetro.

Foram também preparados 72 discos de compósito, 12 de cada resina composta, com 2 mm de altura e 4 mm de diâmetro, utilizando um molde de plástico (Dentisply Maillefer, Chemin du Verger, Ballaigues, Suíça). Destes, 60 foram submetidos a análise da microdureza (n=10) e 12 foram analisados no AFM (n=2).

O compósito foi colocado com uma espátula de inserção, no molde, num único incremento. Após a aplicação do compósito, a sua superfície foi coberta com uma matriz de acetato e tornada plana, exercendo pressão com uma placa de vidro.

De seguida, cada disco foi polimerizado, sem qualquer distância da placa de vidro, durante 40 segundos, com recurso a um fotopolimerizador Optilux Demetron (Kerr Hawe Bioggo, Suíça), com uma intensidade de 600 mW/cm². A intensidade da energia luminosa foi controlada com um radiómetro para um mínimo de 600 mW/cm² (Optilux, n.º de série 127940, Demetron Research Corporation, Danbury, EUA).

Os 72 espécimes preparados para a análise de superfície (AFM e rugosímetro) foram removidos do molde e submetidos a polimento individual. Foi realizada uma sequência de polimento, igual para cada espécime, utilizando o sistema de polimento Jiffy[®] Polisher (Ultradent, South Jordan, Utah, EUA), com uma sequência de 3 borrachas, durante 90 segundos cada borracha, sob refrigeração com água.

Todos os discos foram imersos em 20 mL de água destilada e colocados numa estufa seca à temperatura de 37 °C, durante 24 horas, procurando simular as condições da cavidade oral.

Os testes de microdureza Knoop foram realizados com um microdurómetro (Duramin, Struers, DK-2750, Dallerup, Dinamarca). Foram realizadas 5 indentações na superfície superior de cada disco. Utilizou-se uma carga de 50 g e um tempo de

Tabela 1 – Características das resinas compostas utilizadas no estudo

	XRV Herculite [®] (esmalte)	XRV Herculite [®] (dentina)	Herculite [®] XRV Ultra (esmalte)	Herculite [®] XRV Ultra (dentina)	Enamel Plus HRI [®] (esmalte)	Enamel Plus HRI [®] (dentina)
Cor	A2	A2	A2	A2	UE2	UD2
Matriz	Bis-GMA, TEGDMA	Bis-GMA, TEGDMA	Bis-GMA, TEGDMA	Bis-GMA, TEGDMA	Bis-GMA, BDDMA	Bis-GMA, BDDMA
Partículas de carga	SiO ₂	SiO ₂	Vidro Ba-Al-B-Si SiO ₂	Vidro Ba-Al-B-Si SiO ₂	vidro, ZrO ₂	vidro, ZrO ₂
Tamanho das partículas	0,6 µm	0,6 µm	Ba-Al-B-Si: 0,4 µm SiO ₂ : 50 nm	Ba-Al-B-Si: 0,4 µm SiO ₂ : 50 nm	Vidro: 1,0 µm ZrO ₂ : 20 nm	Vidro: 0,7 µm SiO ₂ : 0,4 µm
% carga	79% em peso e 57,5% em volume	79% em peso e 57,5% em volume	75% em peso e 55, 7% por volume	75% em peso e 55, 7% por volume	80% em peso	75% por peso e 53% por volume
Fabricante	Kerr Italia, Scafati; Itália	Kerr Italia, Scafati; Itália	Kerr Italia, Scafati; Itália	Kerr Italia, Scafati; Itália	GDF GmbH, Rosbach; Alemanha	GDF GmbH, Rosbach; Alemanha
N.º lote	3428349	3399796	3604175	4503565	2012001277	2012001237
Validade	2013-03	2013-02	2013-12	2015-02	2016-02	2017-01

Tabela 2 – Estatística descritiva dos valores de microdureza (KHN). Os valores que apresentam a mesma letra são estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$)

Grupo	n	Microdureza Knoop (KHN)			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Herculite® XRV Ultra (esmalte)	10	46,8	318,8	167,9 ^B	22,40
Herculite® XRV Ultra (dentina)	10	91,1	251,4	173,7 ^B	16,90
Enamel Plus Hri® (esmalte)	10	71,3	226,1	155,2 ^B	16,52
Enamel Plus Hri® (dentina)	10	184,3	358,2	261,9 ^A	17,15
XRV Herculite® (esmalte)	10	108,9	254,7	172,7 ^B	13,15
XRV Herculite® (dentina)	10	140,5	248,1	181,8 ^{A,B}	10,07

penetração de 5 segundos. Para cada disco, foi calculada a média das 5 medições.

A análise de superfície foi realizada com recurso a um rugosímetro (SE12000 – Kosaka Lab model no: DR-25X11, Lisboa, Portugal) e a um AFM (Multimode AFM with NanoScope IIIa, Lisboa, Portugal). Todas as superfícies foram examinadas com o intuito de se obter um valor de Ra. No rugosímetro foram efetuadas 2 leituras, em diferentes direções, utilizando um estilete de 0,5 μm , com um cut-off de 0,8 μm . Para cada espécime foi calculada a média das 2 leituras. No AFM analisou-se a rugosidade de superfície, à escala de 20 μm , para cada disco. A observação das imagens foi efetuada por um só observador, que não o operador.

Todos os dados, exceto os dados alusivos ao AFM, foram submetidos a um teste ANOVA de uma via para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os 6 grupos analisados. O nível de significância estatística foi fixado em 0,05 ($p \leq 0,05$). De seguida, foi efetuado o teste post-hoc, segundo o método de Scheffé, para os dados relativos à análise de microdureza.

Resultados

Relativamente à análise da microdureza, o material que apresentou o valor médio de microdureza mais elevado foi o Enamel Plus Hri® dentina e o que apresentou o valor médio de microdureza mais baixo foi o Enamel Plus Hri® esmalte (tabela 2, fig. 1).

Não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre a resina composta Enamel Plus Hri® dentina e a resina composta XRV Herculite® dentina. Contudo, verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre a resina composta Enamel Plus Hri® dentina e os restantes 4 compósitos.

Relativamente à análise de superfície com o rugosímetro, o compósito que apresentou o valor médio de rugosidade mais elevado foi o Herculite XRV® esmalte e a resina composta que apresentou o valor de rugosidade mais baixo foi o Herculite XRV Ultra® dentina (tabela 3, fig. 2). Não existiram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de Ra dos 6 grupos analisados.

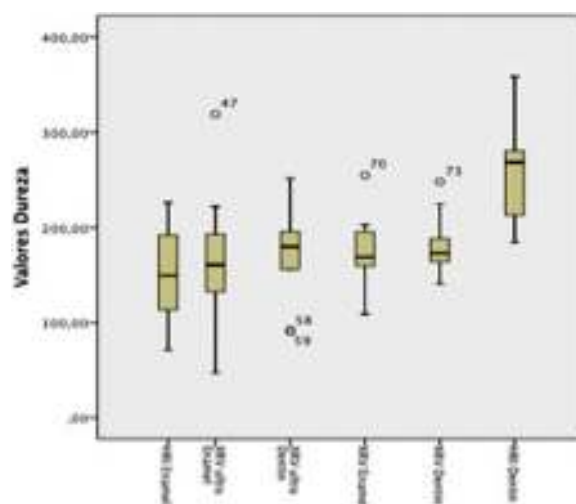


Figura 1 – Distribuição dos valores de microdureza (KHN) dos grupos experimentais.

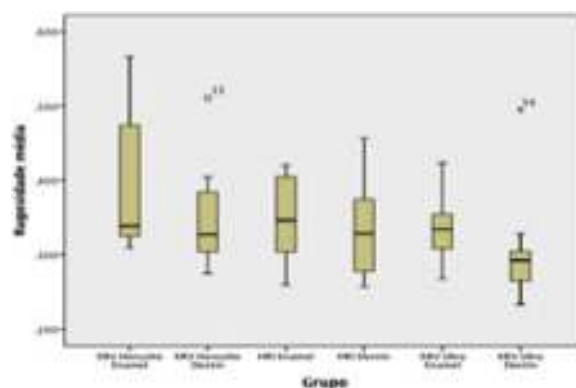


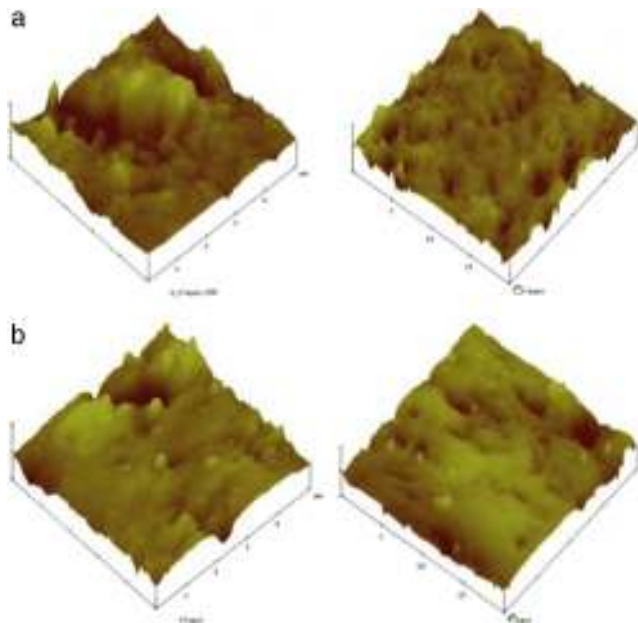
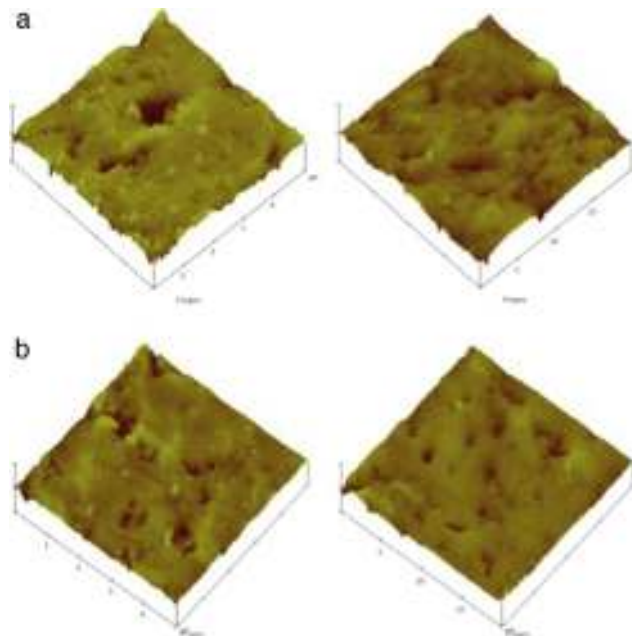
Figura 2 – Distribuição dos valores de rugosidade média (μm) dos grupos experimentais.

Relativamente aos espécimes analisados com o AFM, foram obtidas imagens em escala de 5 e 20 μm a 3D representadas nas figuras 3-5.

Os espécimes relativos à resina composta Herculite XRV® esmalte apresentaram uma superfície heterogênea, com picos

Tabela 3 – Estatística descritiva dos valores de rugosidade (μm). Os valores que apresentam a mesma letra são estatisticamente semelhantes

Grupo	n	Rugosidade média (μm)			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
XRV Herculite® esmalte	10	0,31	0,57	0,39 ^A	0,028
XRV Herculite® dentina	10	0,28	0,51	0,35 ^A	0,022
Enamel Plus Hri® esmalte	10	0,26	0,42	0,35 ^A	0,018
Enamel Plus Hri® dentina	10	0,26	0,46	0,33 ^A	0,021
Herculite XRV Ultra® esmalte	10	0,27	0,42	0,34 ^A	0,013
Herculite XRV Ultra® dentina	10	0,23	0,50	0,30 ^A	0,023

**Figura 3 – Análise de superfície 3 D, à escala de 5 e 20 μm , da resina composta Herculite XRV® – (a) esmalte; b) dentina).****Figura 4 – Análise de superfície 3 D, à escala de 5 e 20 μm , da resina composta Enamel Plus Hri® – (a) esmalte; b) dentina).**

e depressões significativas, que reflete a falta de homogeneidade ao longo da superfície do espécime (fig. 3a).

Os espécimes relativos à resina composta Herculite XRV® dentina também apresentaram uma superfície heterogênea, com picos e depressões à superfície (fig. 3b).

As imagens referentes à resina composta Enamel Plus Hri® esmalte mostraram uma superfície mais lisa, comparativamente às imagens das resinas compostas Herculite XRV® (fig. 4a).

As imagens referentes à resina composta Enamel Plus Hri® dentina também apresentaram depressões e picos menos significativos, comparativamente às imagens das resinas compostas Herculite XRV® (fig. 4b).

A superfície da resina composta Herculite® XRV Ultra esmalte apresentou-se homogênea (fig. 5a).

A superfície do compósito Herculite® XRV Ultra dentina também apresentou picos e depressões, não muito significativos, indicativo de alguma homogeneidade de superfície (fig. 5b).

Discussão

Neste estudo, não existiram diferenças estatisticamente significativas nos valores de microdureza para os compósitos de esmalte. Este facto talvez possa ser explicado, por estes apresentarem uma quantidade de partículas de carga semelhante²⁵⁻²⁸.

Contudo, verificou-se uma diferença estatisticamente significativa entre as resinas compostas Enamel Plus Hri® dentina e Enamel Plus Hri® esmalte, o que pode sugerir que, num volume de partículas de carga semelhante, uma diminuição do tamanho das mesmas aumenta a superfície total de partículas e, conseqüentemente, a interface partículas de carga-matriz. Assim, ocorre uma maior dispersão da luz na interface, influenciando negativamente a polimerização dos compósitos, com conseqüente diminuição da microdureza^{29,30}.

A existência de diferenças estatisticamente significativas entre o Enamel Plus Hri® dentina e os compósitos Herculite®

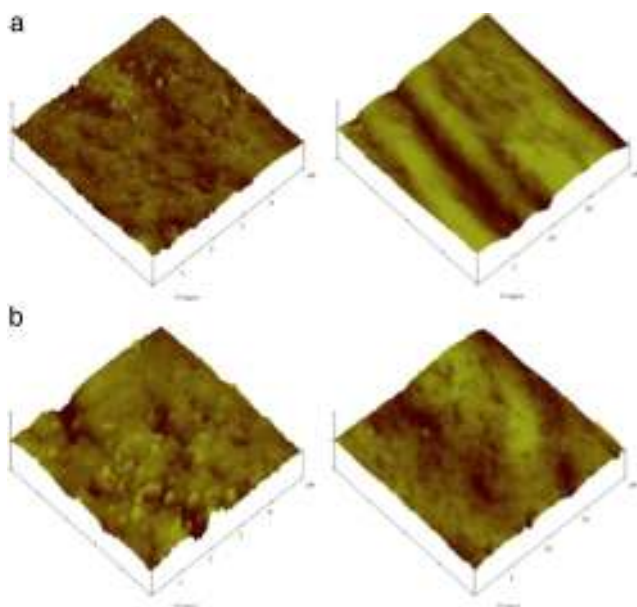


Figura 5 - Análise de superfície 3D, à escala de 5 e 20 μm , da resina composta Herculite[®] XRV Ultra - (a) esmalte; b) dentina).

XRV Ultra dentina, Herculite[®] XRV Ultra esmalte e XRV Herculite[®] esmalte, sugere que a microdureza também pode ser influenciada pela composição da matriz polimérica³¹⁻³³. No entanto, a diversidade da composição orgânica e inorgânica dificulta a avaliação da influência destes componentes na microdureza³⁴⁻³⁶.

De uma maneira geral, não se observaram diferenças significativas nos valores de rugosidade das resinas compostas em estudo. Contudo, verificaram-se ligeiras flutuações nos valores de rugosidade em cada grupo. Tal facto pode ser explicado por variações na pressão e orientação exercidas pelo operador durante o polimento, bem como por uma distribuição não homogênea do abrasivo ao longo da superfície da amostra³⁷⁻³⁹. Como não existem estudos na literatura semelhantes ao presente estudo, para discussão de resultados, não é possível prever clinicamente qual será o comportamento destas resinas, uma vez que, apesar de não existirem diferenças significativas nos valores de rugosidade, existiram pequenas variações.

As imagens obtidas em AFM, à escala de 5 e 20 μm , mostraram que os compósitos Herculite XRV Ultra[®] apresentam uma superfície mais lisa, com menor quantidade de picos e depressões, e mais homogênea do que a superfície dos espécimes de XRV Herculite[®], que apresentam uma superfície mais heterogênea, com grandes picos e depressões. O Enamel Plus HRI[®] encontra-se com uma superfície intermédia, variando entre zonas homogêneas e heterogêneas.

Os resultados obtidos neste estudo, no rugosímetro, são ligeiramente superiores a 0,2 μm , o que pode sugerir que a rugosidade dos compósitos estudados permite a acumulação de placa bacteriana^{7,11,13,14,17,39}. Para além disso, uma superfície é visualmente lisa quando $Ra \leq 1 \mu\text{m}$ ⁴⁰. Assim, neste estudo, e de acordo com a literatura, esta sequência de

polimento não atinge os valores de rugosidade sugeridos como ideais.

Uma das limitações que pode tornar a comparação entre os estudos, de certo modo subjetiva, é a quantidade de variáveis que existem e que são difíceis de padronizar, tais como: as diferentes cargas e tempo de indentação do teste Knoop utilizados nos diferentes estudos, a temperatura, a humidade, o operador, a quantidade e o tipo de luz, e mesmo as próprias condições laboratoriais⁴¹. A dificuldade em exercer a mesma pressão sobre os espécimes durante o polimento também pode provocar alterações na rugosidade de superfície³⁸.

O facto dos materiais avaliados diferirem substancialmente nas suas composições orgânicas e inorgânicas, também dificulta a avaliação da influência destes componentes nas suas propriedades, bem como a comparação de resultados entre as marcas comerciais³⁴⁻³⁶.

Outra limitação encontrada foi a escassez de estudos na literatura que comparem as propriedades das resinas compostas dentina e esmalte da mesma marca comercial, o que dificultou a comparação dos resultados obtidos neste estudo.

A literatura encontra-se limitada em relação aos compósitos utilizados, sendo necessários mais estudos que comprovem esta análise, bem como estudos comparando diferentes tipos de polimento, com o intuito de avaliar as diferentes alterações de superfície que estes podem provocar⁴².

Também existem limitações quando tentamos extrapolar resultados *in vitro* para refletir o desempenho clínico de um material. Exemplo disto é o armazenamento em água durante 24 horas antes do teste, de modo a simular as condições intraorais⁴³. Para além disso, a técnica de aplicação e a perícia do operador têm uma influência significativa na longevidade e comportamento clínico das restaurações, uma vez que alguns fracassos inerentes às restaurações resultam de erros técnicos de manipulação e aplicação⁴⁴⁻⁴⁶.

Conclusões

A resina composta Enamel Plus HRI[®] dentina apresentou uma microdureza superior às restantes.

A resina composta Herculite XRV Ultra[®] apresentou uma superfície mais lisa após observação no AFM, bem como valores de rugosidade mais baixos, após medição no rugosímetro. Contudo, todas as resinas compostas apresentaram valores de rugosidade superiores aos valores citados na literatura como ideais.

Responsabilidades éticas

Proteção de pessoas e animais. Os autores declaram que para esta investigação não se realizaram experiências em seres humanos e/ou animais.

Confidencialidade dos dados. Os autores declaram que não aparecem dados de pacientes neste artigo.

Direito à privacidade e consentimento escrito. Os autores declaram que não aparecem dados de pacientes neste artigo.

Conflito de interesses

O autor declara não haver conflito de interesses.

BIBLIOGRAFIA

- Hickel R, Dash W, Janda R, Tyas M, Anusavice K. New direct restorative materials. FDI Comission Project. *Int Dent J*. 1998;48:3-16.
- Beun S, Glorieux T, Devaux J, Vreven J, Leloup G. Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites. *Dent Mater*. 2007;23:51-9.
- Price RB, Dérand T, Lonev RW, Andreou P. Effect of light source and specimen thickness on the surface hardness of resin composite. *Am J Dent*. 2002;15:47-53.
- Silva Costa SX, Becker AB, de Souza Rastelli AN, de Castro Monteiro Loffredo L, de Andrade MF, Bagnato VS. Effect of four bleaching regimens on color changes and microhardness of dental nanofilled composite. *Int J Dent*. 2009;2009:313845.
- Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc*. 2003;134:1382-90.
- Tantjbirojn D, Versluis A, Cheng Y-S, Douglas WH. Fracture toughness and microhardness of a composite: Do they correlate. *J Dent*. 2003;31:89-95.
- Yap A, Wang X, Wu X, Chung S. Comparative hardness and modulus of tooth-colored restoratives: A depth-sensing microindentation study. *Biomaterials*. 2004;25:2179-85.
- Marovic D, Panduric V, Tarle Z, Ristic M, Sariri K, Demoli N, et al. Degree of conversion and microhardness of dental composite resin materials. *J Mol Struct*. 2013;1044:299-302.
- Ferracane JL. Resin-based composite performance: Are there some things we can't predict. *Dent Mater*. 2013;29:51-8.
- Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SAV. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentin using an indentation technique. *Arch Oral Biol*. 1996;41:539-45.
- Dos Santos PH, Pavana S, Suzuki TY, Briso AL, Assunção WG, Sinhoreti MA, et al. Effect of fluid resins on the surface roughness and topography of resin composite restorations analyzed by atomic force microscope. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011;43:3-439.
- Ozel E, Korkmaz Y, Attar N, Karabulut E. Effect of one-step polishing systems on surface roughness of different flowable restorative materials. *Dent Mat*. 2008;27:755-64.
- Da Costa JB, Gonçalves F, Ferracane JL. Comparison of two-step versus four-step composite finishing/polishing disc systems: Evaluation of a new two-step composite polishing disc system. *Oper Dent*. 2011;36-2:205-12.
- Hosoya Y, Shiraiishi T, Odatsu T, Nagafuji J, Kotaku M, Miyazaki M, et al. Effects of polishing on surface roughness, gloss, and color of resin composites. *J Oral Sci*. 2011;53:283-91.
- Sirin Karaarslan ES, Bulbul M, Yildiz E, Secilmis A, Sari F, Usumez A. Effects of different polishing methods on color stability of resin composites after accelerated aging. *Dent Mater J*. 2013;32:58-67.
- Lainović T, Vilotić M, Blažić L, Kakaš D, Marković D, Ivanišević A. Determination of surface roughness and topography of dental resin-based nanocomposites using AFM analysis. *Bosn J Basic Med Sci*. 2013;13:34-43.
- Scheibe K, Almeida KG, Medeiros IS, Costa JF, Alves CM. Effect of different polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *J Appl Oral Sci*. 2009;17:21-6.
- Voltarelli FR, Santos-Daroz CB, Alves MC, Cavalcanti AN, Marchi GM. Effect of chemical degradation followed by toothbrushing on the surface roughness of restorative composites. *J Appl Oral Sci*. 2010;18:585-90.
- Craig RG, Powers JM. *Materiais Dentários Restauradores*. 11th ed. São Paulo: Santos Editora; 2004.
- Erdemir U, Sancakli HS, Yildiz E. The effect of one-step and multi-step polishing systems on the surface roughness and microhardness of novel resin composites. *Eur J Dent*. 2012;6:198-205.
- Starostina N, West P. Part II. Sample Preparation for AFM Particle Characterization. Pacific Nanotechnology, Inc. Revision.1/16/06.
- Botta AC, Duarte D Jr, Paulin Filho PI, Gheno SM. Effect of dental finishing instruments on the surface roughness of composite resins as elucidated by atomic force microscopy. *Microsc Microanal*. 2008;14:380-6.
- Unursaikhan O, Lee J, Cha J, Park J, Jung U, Kim CS, et al. Comparative evaluation of roughness of titanium surfaces treated by different hygiene instruments. *J Periodontal Implant Sci*. 2012;42:88-94.
- Setcos J, Tarim B, Suzuki S. Surface finish produced on resin composites by new polishing systems. *Quintessence Int*. 1999;30:169-73.
- Oberholzer TG, Pameijer CH, Grobler SR, Rossouw RJ. Effect of power density on shrinkage of dental resin materials. *Oper Dent*. 2003;28:622-7.
- Willems G, Lambrechts P, Braem M, Celis JP, Vanherle G. A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater*. 1992;8:310-9.
- Kwon YH, Jeon GH, Jang CM, Seol HJ, Kim HI. Evaluation of polymerization of light-curing hybrid composite resins. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2006;76:106-13.
- Yanikoglu N, Duymus ZY, Yilmaz B. Effect of different solutions on the surface hardness of composite resin materials. *Dent Mater J*. 2009;28:344-51.
- Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res*. 1985;64:1396-401.
- Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: An in vitro assessment of their mechanical performance. *Oper Dent J*. 2013, <http://dx.doi.org/10.2341/12-395-L>.
- Lee JH, Kim HI, Kim KH, Kwon YH. Effect of bleaching agents on the fluoride release and microhardness of dental materials. *J Biomed Mater Res*. 2002;63:535-54.
- Müdjeci A, Gökay O. Effect of bleaching agents on the microhardness of tooth-colored restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2006;95:286-9.
- Scougall-Vilchis R, Hotta Y, Hotta M, Idono T, Yamamoto K. Examination of composite resins with electron microscopy, microhardness tester and energy dispersive X-ray microanalyzer. *Dent Mater J*. 2009;28:102-12.
- Manhart J, Chen HY, Hickel R. The suitability of packable resin-based composites for posterior restorations. *J Am Dent Assoc*. 2001;132:639-45.
- Ersoy M, Civelek A, L'Hotelier E, Say EC, Soyman M. Physical properties of different composites. *Dent Mater J*. 2004;23:278-83.
- Pereira SK, Porto CLA, Mendes AJD. Avaliação da dureza superficial de uma resina composta híbrida em função da cor, tempo de exposição, intensidade de luz e profundidade do material. *J bras.clin.estet.odontol*. 2000;4:63-7.
- Korkmaz Y, Ozel E, Attar N, Aksoy G. The influence of one-step polishing systems on the surface roughness and microhardness of nanocomposites. *Oper Dent J*. 2008;33:44-50.
- Giacomelli L, Derchi G, Frustaci A, Bruno O, Covani U, Barone H, et al. Surface roughness of commercial composites after

- different polishing protocols: An analysis with atomic force microscopy. *Oper Dent J.* 2010;4:191-4.
39. Antonson SA, Yazici AR, Kilinc E, Antonson DE, Hardigan PC. Comparison of different finishing/polishing systems on surface roughness and gloss of resin composites. *J Dent.* 2011;39S:e9-17.
40. Chung KH. Effects of finishing and polishing procedure on the surface texture of resin composites. *Dent Mater.* 1994;10:325-30.
41. Walker MP, Haj-Ali R, Wang Y, Hunziker D, Williams KB. Influence of environmental conditions on dental composite flexural properties. *Dent Mater.* 2006;22:1002-7.
42. Torres CRG, Borges AB, Pucci CR, Barcellos DC, Lima VF, Paradella TC. Análise da rugosidade superficial de diferentes materiais restauradores estéticos após polimento com discos ou pastas abrasivas. *Braz Dent Sci.* 2009;12:46-51.
43. Huysmans MC, van der Varst PG, Lautenschlager EP, Monaghan P. The influence of simulated clinical handling on the flexural and compressive strength of posterior composite restorative materials. *Dent Mater.* 1996;12:116-20.
44. Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc.* 1994;125:687-701.
45. Jokstad A, Bayne S, Blunk U, Tyas M, Wilson N. Quality of dental restorations. FDI Commission Project 2-95. *Int Dent J.* 2001;51:117-58.
46. Burgess JO, Walker R, Davidson JM. Posterior resin-based composite: Review of the literature. *Pediatr Dent.* 2002;24:465-79.