

Avaliação *in vitro* da microdureza de novos compósitos em diferentes espessuras

In vitro microhardness evaluation of new composite resins in different thickness

Raquel Cristina Barbosa Ulson*
Sheila Regina Maia Braga**
Maria Ângela Pita Sobral***
Miriam Lacalle Turbino****
Michel Nicolau Youssef*****

Resumo

Introdução – Com o surgimento de novos compósitos, há um grande interesse pelo conhecimento de suas propriedades mecânicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar *in vitro* a microdureza Vickers de quatro compósitos (Z 250, Natural Look, Epricord e Clearfil Majesty), em espessuras de 0, 1, 2, 3 e 4 mm. **Material e Métodos** – Vinte corpos de prova para cada compósito foram confeccionados em matrizes circulares de polipropileno pretas e a resina inserida em porção única e fotopolimerizada por 40s. A seguir, foram armazenados por uma semana, a 37°C, a seco, em recipientes escuros. A microdureza Vickers foi avaliada por meio de um microdurômetro digital HMV (Shimatzu, Japão), com auxílio do software CAM-Wins, utilizando carga de 50gf por 45s. Cinco medidas foram obtidas por corpo de prova. A análise estatística utilizou o teste ANOVA e teste de Tukey, com um nível de significância de 5%. **Resultados** – Após a análise de variância observou-se diferença significativa entre as resinas ($F = 235,07$), entre as espessuras ($F = 331,10$) e para a interação resina X espessura ($F = 14,95$). O valor de Tukey foi 12,12. **Conclusões** – Os valores de microdureza diminuíram com o aumento da espessura da resina composta, para todas as resinas utilizadas. A resina Z 250 possibilitou o seu uso em incrementos de até 3 mm, a Natural Look até 2 mm e as Epricord e a Clearfil Majesty até 1 mm apenas.

Palavras-chave: Testes de dureza; Resinas compostas; Luz

Abstract

Introduction – Due to new dental composite resins are arising, there is a great interest in clarifying their mechanic's proprieties. The aim of this study was to investigate the *in vitro* microhardness of four composite resins (Z 250, Natural Look, Epricord and Clearfil Majesty) with different thicknesses 0, 1, 2, 3 and 4 mm. **Material and Methods** – Twenty specimens of each composite resin were made on matrices of black polypropylene with cylindrical holes in which a single portion of the resin was applied and photopolymerized for 40s. Following, they were stored for a week, at 37°C in a dry and dark chamber. Vickers microhardness was measured using a digital microdurometer HMV (Shimatzu, Japan) with the CAM-wins software, using 50gf for 45s. Five measurements were made for each specimen. The data were statistically analyzed using ANOVA and Tukey tests ($p < 0.05$). **Results** – After the analysis of variance, significant differences were detected among the composite resins ($F = 235.07$), among their thicknesses ($F = 331.10$), and between the resin x thickness interaction ($F = 14.95$). The Tukey value was 12.12. **Conclusions** – The results revealed that an increase of the resin thickness produced a decrease in microhardness, for all composite resins analyzed. Increments of composite resins should not exceed 3 mm for Z 250, 2 mm for Natural Look, and only 1 mm for Epricord and Clearfil Majesty.

Key words: Hardness tests; Composite resins; Light

Introdução

Com o decorrer do tempo, houve um aprimoramento da qualidade das resinas compostas fotopolimerizáveis, porém alguns problemas ainda existem relacionados às suas propriedades mecânicas, que podem influenciar na longevidade destas restaurações. Para a avaliação

de suas características intrínsecas, diversos itens são avaliados, entre eles a microdureza. Para avaliar a qualidade de polimerização da resina, os testes de microdureza têm sido utilizados, devido a sua direta correlação com o grau de conversão do monômero e também por ser um método indicado para medir profundidade de polimerização⁷.

* Estagiária de Investigação da Disciplina de Dentística Operatória da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FOUSP). E-mail: odontoulson@terra.com.br

** Doutorando em Dentística pela FOUSP.

*** Professora Doutora do Departamento de Dentística da FOUSP.

**** Professores Associados do Departamento de Dentística da FOUSP.

Diversos fatores podem acarretar mudanças nos valores de dureza de materiais resinosos. Verheyen²⁵ (2001), num levantamento da literatura, classificou os fatores que têm importância na reação de polimerização, em ordem decrescente: quantidade de energia liberada pela luz, restauração em incrementos de até 2 mm, tempo de exposição da luz e distância entre a luz e a resina composta. Diversos autores pesquisaram a capacidade de polimerização de resinas compostas em diferentes profundidades^{2,6,9,23} encontrando menores valores de microdureza Vickers, para as maiores espessuras dos materiais.

Yeart²⁷ (1985) estudou os principais fatores que determinam as características de polimerização das resinas compostas como a composição dos compósitos, a luz incidente e variáveis relacionadas ao profissional. No que se refere à composição dos materiais, as principais variáveis que interferem na polimerização são os índices de refração da resina e da carga, que podem facilitar ou dificultar a transmissão de luz.

Tate *et al.*²² (1999) verificaram que além da cor escura diminuir a transmissão de luz, outros fatores influenciam na dureza: a quantidade e o tamanho das partículas (partículas de 0,01 a 1 µm reduzem a penetração de luz), a forma da cavidade e a distância entre a fonte e a superfície da restauração. Foi demonstrado que a polimerização dos compósitos geralmente diminui da superfície para o interior da resina e que só a dureza da superfície não pode ser considerada um bom indicador de que a resina foi completamente polimerizada²².

Asmussen¹ (1982) verificou que as resinas à base de Bis-GMA fotoativadas mostraram-se mais duras do que as resinas quimicamente ativadas. As resinas de cores mais claras apresentaram maiores valores de dureza, no estudo de Mandarino *et al.*¹⁰ (1992), sendo que com relação à espessura de 1 mm, essa diferença não foi significativa, para todas as resinas avaliadas.

Vários aparelhos e técnicas têm sido utilizados para a ativação de resinas compostas como luz halógena, laser de argônio, com variação do tempo e da distância da fonte de ativação ao corpo de prova. Machado *et al.*⁹ (2002) afirmaram que a microdureza pode variar em função do aparelho fotopolimerizador utilizado. A superioridade da luz halógena em relação à capacidade de polimerização de materiais resinosos, se mostrou evidente, nos estudos de Pereira *et al.*¹² (2004), por proporcionar maiores médias de microdureza, na superfície de topo e na base dos corpos de prova, bem como no de Santos²⁰ (2002) e Turbino²³ (2004). Quanto maior a distância do centro de aplicação da luz do aparelho fotopolimerizador ao corpo de prova, menor a dureza²⁰.

Em relação aos fatores que exercem influência sobre a fotoativação de compósitos, Fan *et al.*⁵ (2002) os consideraram na seguinte ordem: composição do material, tipo e concentração do fotoiniciador, comprimento de onda da luz e pico do comprimento de onda, intensidade da luz e tempo de irradiação. Como métodos para avaliar a profundidade de polimerização das resinas compostas, sugeriram os testes de dureza, de interação com corantes mudanças de translucência, grau de con-

versão, micro imagem de ressonância magnética, testes de penetração e testes de raspagem.

Watts *et al.*²⁶ (1984) avaliaram a profundidade de polimerização frente a diferentes condições, por meio da avaliação da microdureza Knoop de cinco resinas compostas para dentes anteriores e partículas diferentes, utilizando cinco aparelhos fotoativadores, por 20, 40 e 60 segundos. Para isso, os autores determinaram alguns parâmetros: dureza máxima do material (depende da extensão de polimerização e do tipo e concentração das partículas de carga); a profundidade na qual o material se encontrava amolecido demais para medir a dureza; profundidade do material onde foi atingida 80% de dureza máxima; área total sob a curva de correlação da dureza e profundidade de polimerização e área total dividida pela dureza máxima. Os resultados mostraram que altas intensidades de luz tiveram desempenho superior na reação de polimerização e que um fluxo de 470 nm podia garantir o sucesso de uma restauração, bem como, as fontes menos eficientes deveriam ser utilizadas por um tempo maior para promover uma polimerização satisfatória. Afirmaram que a profundidade de polimerização não é linearmente proporcional ao tempo de irradiação. A dureza máxima foi conseguida próxima ou na superfície e foi dependente do tipo e quantidade de partículas de carga.

A renovação das resinas disponíveis no mercado tem sido contínua, tornando-se necessárias constantes pesquisas para que o uso desses novos compósitos possa ser acompanhado e orientado, sendo que, a profundidade de polimerização, por meio de testes de microdureza pode auxiliar, nesse sentido.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo *in vitro* foi avaliar a microdureza Vickers de quatro resinas compostas encontradas atualmente no comércio: Z 250, 3M – híbrida, Clearfil Majesty, Kuraray – microhíbrida, Epicord, Kuraray – híbrida, Natural Look, DFL, microhíbrida, em espessuras de 1 a 4 mm, na cor A 3.

Material e Métodos

Foram confeccionados 20 corpos de prova para cada grupo, correspondente a cada uma das resinas avaliadas neste estudo: Z 250, 3M – híbrida, Clearfil Majesty, Kuraray – microhíbrida, Epicord, Kuraray – híbrida, Natural Look, DFL, microhíbrida. Para cada grupo de resina composta foram confeccionados 4 corpos de prova em diferentes espessuras: 1, 2, 3 e 4 mm, empregando-se matrizes circulares de polipropileno pretas com 4mm de diâmetro em sua parte interna. Cada matriz foi apoiada sobre uma lâmina de vidro servindo como apoio e para obter-se uma superfície plana e lisa. As lâminas foram posicionadas previamente sobre uma cartolina preta, para evitar a reflexão. A resina foi inserida na matriz com espátula de inserção Thompson nº 12, em porção única, até o seu total preenchimento. Sobre a matriz colocou-se uma tira de poliéster e sobre esta última, outra lâmina de vidro para aplainamento e paralelismo da superfície. Para a fotoativação, a lâmina de vidro foi removida e foi aplicado luz halógena, utilizando-se apa-

relho fotopolimerizador Astralis 3 (Ivoclar, Vivadent), com intensidade de 500 mW/cm², checada por um radiômetro (Curing Lightmeter – Demetron Research Corporation, USA), polimerizando-se por 40 segundos, sendo que a ponta do aparelho foi direcionada em posição perpendicular à superfície e apoiada sobre a tira de poliéster, com seu centro coincidente com o centro do corpo de prova. Após a polimerização, os corpos de prova foram armazenados em estufa a 37°C, a seco, por uma semana, em recipientes escuros. Após este procedimento, foram posicionados em um paralelômetro (Olympus), com auxílio de um material de modelagem para sua fixação, em discos contidos na base do aparelho, para obtenção de um paralelismo da superfície durante as medições dos valores de microdureza. Em seguida, foram feitas cinco medidas na superfície oposta à irradiada obtendo-se valores para espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm. As medidas de microdureza Vickers foram obtidas com carga de 50gf por 45 segundos, num microdurômetro HMV – 2000 (Shimatzu, Japão), com auxílio do Software CAMS – Win. Para as medidas dos grupos 0mm foram utilizadas matrizes de 1 mm e as aferições de dureza foram realizadas na superfície irradiada. Deste modo, ao final obteve-se 5 espessuras avaliadas para cada resina (0, 1, 2, 3, 4 mm).

Resultados

Os resultados obtidos consistiram de 500 valores de microdureza referentes a 4 tipos de resina composta, 5 espessuras, 5 repetições e 5 medidas para cada corpo de prova (4 X 5 X 5 X 5 = 500). Para cada corpo de prova, foi calculada a média das cinco medidas registradas, resultando num total de 100 dados para cada resina avaliada. A seguir, obteve-se as médias de cada resina por espessura, apresentadas na Tabela 1. Para a análise estatística, foi utilizada a análise de variância, e o teste de Tukey para a comparação entre as médias dos grupos com um nível de significância de 5% ($p \leq 5\%$).

Tabela 1. Valores médios de microdureza Vickers (carga de 50gf e tempo de 45s) e desvios-padrões

	Z 250	Clear	Epr	Nat Look
0	90,9 ± 0,61	44,5 ± 3,26	46 ± 1,22	62,9 ± 2,73
1	87,4 ± 1,12	41,1 ± 2,11	34,7 ± 3,47	61,1 ± 3,80
2	83,6 ± 0,90	33,4 ± 1,61	25,4 ± 1,56	59,8 ± 4,25
3	75,9 ± 1,78	27,1 ± 4,23	16,1 ± 1,39	40,8 ± 3,78
4	64,2 ± 4,09	20,3 ± 4,97	1 ± 0	26 ± 2,99

A análise de variância mostrou haver diferença estatisticamente significativa para os dois fatores: resina composta ($F = 1836,91$) e espessura ($F = 430,79$) e para a interação entre eles ($F = 12,62$). Foi calculado o Tukey ($T = 6,68$) da interação resina composta X espessura, para avaliar o comportamento dos grupos individualmente.

Para todos os materiais avaliados a superfície irradiada (0 mm) foi a que alcançou maior valor de dureza, sendo

que a resina Z 250 apresentou maior valor ($m = 90,9$) que todas as outras. A Natural Look ($m = 62,9$) apresentou dureza maior que a Clearfil Majesty ($m = 44,5$) e a Epricord ($m = 46$), que não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si (Gráfico 1).

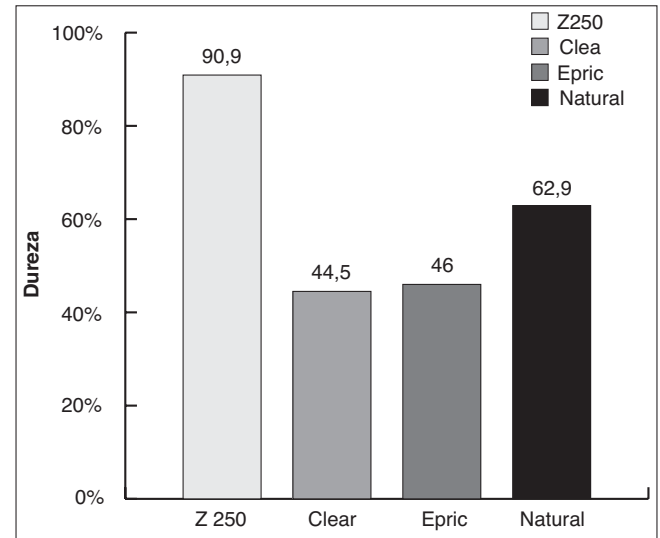


Gráfico 1. Valores médios de dureza das quatro resinas, na superfície irradiada – 0 mm (máxima dureza de cada resina)

O Gráfico 2 mostra os valores de dureza correspondentes a cada resina nas diferentes espessuras avaliadas. Há uma queda nos valores de dureza com o aumento da espessura para todas as resinas compostas estudadas.

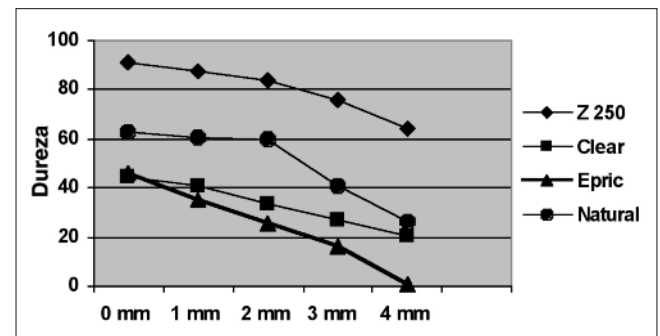


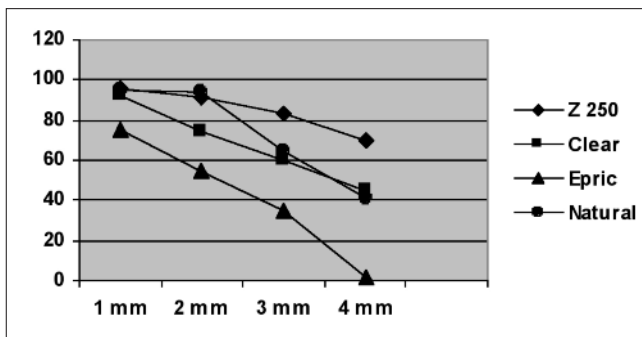
Gráfico 2. Dureza das resinas nas diferentes espessuras (0 a 4 mm)

Para avaliar o grau de polimerização de cada resina, nas diferentes espessuras, o valor de dureza da superfície irradiada foi utilizado como referência para o cálculo da porcentagem de dureza, ou seja, cada valor de dureza obtido em cada corpo de prova de cada espessura foi dividido pelo valor da superfície irradiada (0 mm) da própria resina. Esses dados resultaram na tabela que representa a porcentagem de dureza máxima para cada espessura (PDM), cujos dados utilizados estão na Tabela 2 e demonstrados no gráfico da Gráfico 3.

Tabela 2. Porcentagem de dureza máxima (PDM) para as espessuras de 1 a 4 mm

	Z 250	Clear	Epr	Nat Look
1	95,6	92,2	75	95,2
2	91,4	74,6	54,6	93,6
3	83,2	60,2	35	64,6
4	70,2	45,2	2	41

Valores expressos em porcentagem

**Gráfico 3. PDM de cada resina nas diferentes espessuras (1 a 4 mm)**

Com os dados da Tabela 2 foi calculada a análise de variância, cujos resultados mostram haver diferença estatisticamente significativa entre as resinas ($F = 235,07$), entre as espessuras ($F = 331,10$) e para a interação resina X espessura ($F = 14,95$). Para a comparação entre as 16 médias foi calculado o valor de Tukey ($T = 12,12$). Com essas comparações pôde-se notar que as resinas Z 250, Clearfil e Natural Look não apresentaram diferença de PDM em 1 mm, sendo maior que a Epricord. Em 2 mm, apenas as resinas Z 250 e Natural Look foram semelhantes entre si, sendo que a Clearfil apresentou menores valores, sendo seguida pela Epricord. Em 3mm de espessura, houve redução significativa do grau de polimerização para todas as resinas, sendo que a Z 250 apresentou o menor nível de redução e as demais, níveis maiores; o mesmo acontecendo em 4 mm.

Discussão

Com o surgimento freqüente de novas resinas compostas e a evolução desses materiais, têm aumentado o interesse dos pesquisadores no sentido de conhecer suas propriedades mecânicas. Entre os fatores que se relacionam diretamente com as propriedades mecânicas das resinas compostas está o grau de polimerização. Assim, a profundidade da polimerização de resinas compostas vem sendo estudada por diversos pesquisadores, a fim de facilitar a eleição do melhor material, dentre a diversidade encontrada no comércio^{6,19-20,23}. Vários métodos são utilizados para avaliar a qualidade de polimerização, entre eles o teste de microdureza⁷. Os métodos de microdureza Vickers e Knoop representam os meios de avaliação da profundidade de polimeriza-

ção de compósitos mais utilizados pelos pesquisadores há várias décadas^{10,17, 24,26}.

Diversos fatores podem interferir na microdureza como: tipo de compósito, técnica restauradora, distância do corpo de prova ao centro de polimerização, tipo de aparelho fotoativador, técnica de fotoativação, tipo de acabamento e polimento dos compósitos, cor da matriz^{4,11,14-15,18,20-21,24}.

Diferentes tipos de resinas foram utilizados neste estudo, com o objetivo de avaliar a microdureza em diferentes espessuras e conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. Das resinas utilizadas a única indicada para técnica indireta foi a Epricord, sendo as demais empregadas para a técnica direta.

A resina híbrida Z 250, vêm sendo amplamente estudada na literatura, sendo muitas vezes representante do grupo controle nas pesquisas relacionadas à microdureza²⁰.

A resina Epricord (resina híbrida), Clearfil Majesty (resina microhíbrida) e a Natural Look (resina microhíbrida) surgiram mais recentemente no mercado, sendo que não são encontrados muitos dados na literatura relacionados à avaliação de suas características intrínsecas, com exceção do estudo de Sá *et al.*¹⁸ (2004) que avaliou a microdureza das resinas: Epricord e Esthet X, variando-se a técnica restauradora e as condições de armazenamento, verificando menores valores para a resina Epricord e do trabalho de Franco⁸ (2005) que verificou o comportamento de algumas resinas indiretas em função da cor, com relação à resistência à flexão, dureza, grau de conversão de compósitos, concluindo que os piores materiais foram o Epricord, Signum e Solidex.

Contudo, segundo o fabricante, a resina Epricord possui adesividade ao metal e valor médio de resistência à compressão próximo de 450 MPa, resistência à flexão de aproximadamente 90 MPa e dureza de quase 50HV, o que indica uma elevada resistência mecânica. Neste estudo, verificou-se que o valor de dureza desse compósito foi praticamente similar ao especificado pelo fabricante somente na superfície irradiada. Observou-se um decréscimo dos valores de dureza, com o aumento da espessura, sendo que em 4 mm a resina Epricord não polimerizou.

Cotrina *et al.*⁴ (2003), utilizaram matrizes metálicas para a confecção dos corpos de prova, porém, o estudo de Turbino *et al.*²⁴ (2000) comprovou que a cor da matriz pode influenciar nos valores de microdureza e assim foi eleita a matriz de cor preta, de polipropileno, que obteve o melhor comportamento para os testes de microdureza, quando comparada às de cores claras.

A superfície da resina foi planificada com a sobreposição de uma lâmina de vidro, com ligeira pressão, sobre a tira matriz de poliéster, que por sua vez estava posicionada sobre o corpo de prova. Esta planificação foi necessária, visto que, para o teste de microdureza Vickers é importante que a superfície avaliada seja lisa e paralela ao plano horizontal. Para a obtenção deste paralelismo, utilizou-se um planificador, que continha em sua base, um disco metálico onde era posicionado o corpo de prova, com auxílio de um material fixador.

Nesse aparelho era realizado um movimento com uma haste móvel, nele acoplada, que, sobre o corpo de prova, tornava a superfície paralela. Esse paralelismo também foi obtido no trabalho de Franco⁸ (2005).

Para a polimerização dos compósitos, foi utilizada luz halógena, já que o estudo de Santos²⁰ (2002) demonstrou melhor resultado com a utilização desse tipo de luz, em conformidade com Cotrina *et al.*⁴ (2003), Belan² (2004) e Pereira *et al.*¹² (2004).

A intensidade do aparelho de fotoativação utilizada de 500 mW/cm² foi checada por um radiômetro, para maior fidelidade deste estudo¹⁶. O tempo utilizado de polimerização foi de 40 segundos, que vêm sendo largamente empregado na literatura. A ponta do aparelho foi colocada justaposta e coincidente com o centro do corpo de prova, pois alguns estudos verificaram que a dureza diminuiu conforme aumenta a distância do centro de polimerização²⁰. O armazenamento da amostra por uma semana, a seco teve o intuito de evitar possíveis alterações decorrentes de armazenamento em ambiente úmido. Contudo, Peruzzo *et al.*¹³ (2003), bem como Carvalho *et al.*³ (2005), não levaram esta manobra em consideração, realizando o armazenamento das amostras em água destilada. Recipientes escuros foram utilizados para a estocagem, bem como, nos estudos de Faria⁶ (2003) e Turbino²³ (2004), a fim de evitar alterações dimensionais no corpo de prova, provocadas pela presença da luz.

Na literatura, observou-se que não houve uma padronização da carga e do intervalo de tempo utilizado na metodologia das pesquisas^{4,6,21}.

Os resultados deste estudo demonstraram maiores valores de dureza para a superfície irradiada (0mm), quando comparado com os da superfície oposta à irradiação, provavelmente devido à maior proximidade da fonte de luz ao corpo de prova²⁰. Com relação às resinas avaliadas neste experimento, os menores valores de microdureza foram para a resina Epricord, em conformidade com os resultados de Franco⁸ (2005) e Sá *et al.*¹⁸ (2004). Em relação à mesma, verificou-se que no grupo de 4 mm não houve polimerização. Esta resina foi, originariamente, produzida para restaurações indiretas, porém, ela foi introduzida nesta pesquisa, pelo fato de muitos clínicos a utilizarem em restaurações diretas de dentes posteriores. Os menores valores de microdureza encontrados para este compósito se devem, provavelmente às características intrínsecas deste compósito, ao tamanho das partículas e ao menor coeficiente

de transmissão da luz¹⁹. Segundo Santos¹⁹ (2003), o pequeno tamanho das partículas dificulta a transmissão da luz, provocando dispersão da mesma e limitando a polimerização da resina em profundidade. Observou-se que para todos os compósitos estudados, os maiores valores de microdureza foram relacionados às menores espessuras.

Um outro fator que pode ter influenciado os resultados deste trabalho é a quantidade de energia durante a passagem de luz pelo material. Segundo Rissi e Cabral¹⁶ (2002), uma grande espessura de resina composta não é polimerizada adequadamente pela redução da energia quando da passagem da luz. Turbino²³ (2004) também detectou menores valores de microdureza para a resina microparticulada, que obteve polimerização satisfatória apenas na espessura de 1 mm. A resina composta híbrida Z 250 apresentou a maior microdureza, em comparação com os outros grupos, em conformidade com o estudo de Turbino²³ (2004).

Segundo Watts *et al.*²⁶ (1984) são necessários pelo menos 80% do valor da dureza da superfície irradiada para que a resina seja considerada como satisfatoriamente polimerizada. Ao observar a Tabela 2, com os valores de PDM das resinas, pôde-se notar que a resina Z 250 atingiu o valor de 80% de dureza máxima até o 3^o milímetro de espessura. A Natural Look apresenta valor maior que 80% até 2mm e as outras duas resinas apresentam valores inferiores a 80% desde o primeiro milímetro. Diante dessa observação, pode-se salientar que para a resina Z 250 é permitido utilizar incrementos de até 3 mm, enquanto que para a Natural Look, os incrementos não devem ser maiores que 2 mm e para as resinas Clearfil Majesty e Epricord, esses incrementos não podem ser maiores que 1 mm. Esta observação é importante, pois ao eleger uma dessas resinas compostas para trabalhar, o profissional tem a segurança de qual técnica restauradora deverá utilizar.

Conclusões

Com base na literatura e nos resultados obtidos deste trabalho, pôde-se concluir que:

1. Os valores de microdureza diminuíram com o aumento da espessura da resina composta, para todas as resinas utilizadas.
2. A resina Z 250 possibilitou o seu uso em incrementos de até 3 mm, a Natural Look até 2 mm e as Epricord e a Clearfil Majesty até 1 mm apenas.

Referências

1. Asmussen E. Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res.* 1982;90(6):484-9.
2. Belan LC. Microdureza da resina composta ativada com luz halógena e laser de argônio na técnica de pulso-espera [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo; 2004.

3. Carvalho JC, Torres CR, Araújo RM, Carvalho JPB, Araújo MAM. Influência do ácido láctico sobre a microdureza de resinas compostas. RGO (Porto Alegre). 2005;53(1):7-11.
4. Cotrina LAD, Sousa AM, Pereira SK, Gomes OM, Gomes JC. Efeito de diferentes sistemas de fotopolimerização na microdureza de uma resina composta Bleach Shade. JBD Rev Iberoam Odontol Estet Dent. 2003;2(8):348-57.
5. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. J Am Dent Assoc. 2002; 133(4):429-34.
6. Faria GB. Avaliação "in vitro" da microdureza superficial e profunda de resinas compostas fotoativadas com o tempo de exposição preconizado pelos fabricantes, outros tempos e incrementos únicos de 2 e 3 mm [Dissertação de Mestrado]. Natal: Departamento de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2003.
7. Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. J Biomed Mater Res. 1986;20(1):121-31.
8. Franco LL. Avaliação da resistência à flexão, dureza, grau de conversão de compósitos para a técnica indireta em função da cor [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo; 2005.
9. Machado CT, Porto Neto ST, Cruz CAS, Loffredo LCM. Avaliação da microdureza de uma resina composta híbrida submetida a três tipos de aparelhos fotopolimerizadores. JBC J Bras Clin Odontol Integr. 2002;6(32):165-9.
10. Mandarino F, Porto CLA, Fontana UF, Cândido MSM, Oliveira Jr OB. Efeito da tonalidade de cor sobre a profundidade de polimerização das resinas compostas fotopolimerizáveis. Rev Bras Odontol. 1992;49(5):38-41.
11. Nema N, Vilchez B, Lafuente JD. Effect of polishing method on surface microhardness of composite [abstract]. J Dent Res. 2000;79(Special Issue):365.
12. Pereira SK, Rastelli, ANS, Souza CD, Bortoli D. Novas fontes de polimerização: efeito da luz halógena e Led's na microdureza de resinas compostas. RGO (Porto Alegre). 2004;52(1):7-12.
13. Peruzzo V, Souza FHC, Klein Jr CA, Campo LM, Macedo RP. Microdureza superficial da resina composta. RGO (Porto Alegre). 2003;51(2):112-6.
14. Porto FR. Avaliação da efetividade de métodos de acabamento e polimento de resina composta, antes e após ciclagem mecânica [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.
15. Reis AC, Panzeri H. Medida de dureza superficial e da resistência à compressão de uma resina composta condensável submetida à condensação manual e mecânica. RPG Rev Pós-Grad. 2001;8(4):301-5.
16. Rissi RC, Cabral A. Fotopolimerização: principais variáveis clínicas que podem interferir no processo. Rev Assoc Paul Cir Dent. 2002;56(2):123-8.
17. Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. Micro-indentation hardness. J Dent Res. 1961;40(6):1116-26.
18. Sá PM, Rocha PI, Mesquita AMM, Araújo MAM, Valera MC. Influência do etanol e do ácido cítrico na microdureza de resinas compostas. Rev Odonto Ciênc. 2004;19(46):310-5.
19. Santos GB. Estudo da microdureza Knoop e do grau de conversão de um compósito em função da profundidade e fontes ativadoras [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2003.
20. Santos LA. Avaliação da extensão da polimerização superficial da resina composta por meio de teste de microdureza [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2002.
21. Say EC, Civelek A, Nobecourt A, Ersoy M, Guleryus C. Wear and microhardness of different resin composite materials. Oper Dent. 2003;28(5):628-34.
22. Tate WH, Porter KH, Dosch RO. Successful photocuring: don't restore without it. Oper Dent. 1999; 24(2):109-14.

23. Turbino ML. Profundidade de polimerização de resina composta ativada com laser de Argônio [Tese de Livre Docência]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2004.
24. Turbino ML, Santos LA, Matson E. Microdureza de resina composta fotopolimerizável: a cor da matriz experimental pode alterar os resultados dos testes? *Pesqui Odontol Bras.* 2000;14(3):232-6.
25. Verheyen P. Photopolymerization with the argon laser. *J Oral Laser Applic.* 2001;1(1):49-54.
26. Watts DC, Amer O, Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite systems. *Br Dent J.* 1984;156(6):209-15.
27. Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J.* 1985;35(3):218-25.

Recebido em 02/3/2007

Aceito em 03/05/2007

In vitro microhardness evaluation of new composite resins in different thickness

Raquel Cristina Barbosa Ulson*
Sheila Regina Maia Braga**
Maria Ângela Pita Sobral***
Miriam Lacalle Turbino****
Michel Nicolau Youssef*****

Abstract

Introduction – Due to new dental composite resins are arising, there is a great interest in clarifying their mechanic's proprieties. The aim of this study was to investigate the in vitro microhardness of four composite resins (Z 250, Natural Look, Epricord and Clearfil Majesty) with different thicknesses 0, 1, 2, 3 and 4 mm. **Material and Methods** – Twenty specimens of each composite resin were made on matrices of black polypropylene with cylindrical holes in which a single portion of the resin was applied and photopolymerized for 40s. Following, they were stored for a week, at 37°C in a dry and dark chamber. Vickers microhardness was measured using a digital microdurometer HMV (Shimatzu, Japan) with the CAM-wins software, using 50gf for 45s. Five measurements were made for each specimen. The data were statistically analyzed using ANOVA and Tukey tests ($p < 0.05$). **Results** – After the analysis of variance, significant differences were detected among the composite resins ($F = 235.07$), among their thicknesses ($F = 331.10$), and between the resin x thickness interaction ($F = 14.95$). The Tukey value was 12.12. **Conclusions** – The results revealed that an increase of the resin thickness produced a decrease in microhardness, for all composite resins analyzed. Increments of composite resins should not exceed 3 mm for Z 250, 2 mm for Natural Look, and only 1 mm for Epricord and Clearfil Majesty.

Key words: Hardness tests; Composite resins; Light

Introduction

Over time, the quality of photo-polymerized composite resins has been improved; however, some problems regarding their mechanical proprieties might influence on the longevity of restorations. To evaluate the composite resins intrinsic characteristics several items have been analyzed, and among them, the microhardness. The microhardness tests have been used to evaluate the resin polymerizing quality due to its correlation with the degree of the monomer conversion; furthermore, it is a suitable method for measuring the depth of polymerization⁷.

Some factors may influence on the microhardness of resinous materials. According to Verheyen²⁶ (2001), these factors were classified in the following order of decreasing importance: the intensity of the curing light, increments for restorations of 2 mm or less, the irradiation time, and the distance of the light from the composite resin. Several authors carried out research on polymerization of composite resins at different depths, finding lower Vickers microhardness values for thicker materials^{2,6,9,23}.

Yeart²⁷ (1985) analyzed the main factors that determine the polymerization characteristics of com-

posite resins, such as the composition of the composite, the curing light, and the control exercised by the practitioner. Some factors regarding to the composition of materials could influence on the light transmission, including refractive indexes of the resin and the load, so that they affect the polymerization.

Tate *et al.*²² (1999) reported that beside dark colors could decrease the light transmission, other factors could influence on hardness, such as: the quantity and size of particles (0.01 to one μm particle decrease the light penetration), the cavity shape and the distance between the curing light source and restoration surface. The authors showed that, overall, polymerization of the composite decreased from the surface resin to the inner, and the surface hardness was not an adequate parameter to evaluate the degree of polymerization of the composite resin.

According to Asmussen¹ (1982) the light-polymerized Bis-GMA-based polymers were harder than the chemically cured materials. The light shade resin-based composite materials showed high hardness values; however, according to Mandarino *et al.*¹⁰ (1992), significant differences were not observed on all type of composite resin formulations evaluated at 1 mm depth.

* Investigation Trainee, Discipline of Operative Dentistry, School of Dentistry, University of São Paulo. E-mail: odontoulson@terra.com.br

** Doctorate Student in Operative Dentistry, School of Dentistry, University of São Paulo.

*** PhD, Professor, Department of Operative Dentistry, University of São Paulo.

**** Associate Professor, Department of Operative Dentistry, University of São Paulo.

Several photocuring devices and methods have been used to polymerize composite resins, such as the halogen light and argon laser in which the exposure time and the distance from the curing light to specimens varied. Machado *et al.*⁹ (2002) assumed that the microhardness could vary according to the type of photocuring device used. As noted by several authors, halogen light showed the best efficiency on resin composite polymerization performance, providing higher microhardness mean values on the top and bottom surfaces of specimens^{12,20,23}. showed that higher distances from the center of curing light to the specimens resulted in lower hardness values.

It has been argued by Fann *et al.*⁵ (2002) that several factors affect light curing of a resin-based composite: the material's composition, the type and the concentration of the photoinitiators, the peak wavelengths and bandwidth of the curing light, the intensity of the light and the irradiation time. Several methods have been used to measure the cure depth of resin-based composites, such as, hardness tests, interaction with color dyes, translucency changes, conversion degree, nuclear magnetic resonance microimaging, penetration tests, and scraping tests.

Watts *et al.*²⁶ (1984) investigated the polymerization depth by Knoop microhardness test under different experimental conditions. The authors evaluated five composite resins on anterior teeth with different particles, using five light-curing devices for 20, 40 and 60 seconds. In this way, some parameters were determined, as follow: 1) Maximum value of material hardness, which depends on the polymerization degree, type of load particles and their concentration. 2) Depth of softened material in which to measure the hardness was not possible. 3) Depth of the material in which 80% of the maximum hardness might be reached. 4) Total area under the correlation curve between the hardness and the polymerization depth and total area divided by the maximum hardness.

As Watts *et al.*²⁶ (1984) observed, high intensity of light with 470 nm wavelength could lead a superior performance during polymerization, achieving successful restoration; as well as, the least efficient light source should be used for a longer time to produce satisfactory polymerization. The authors affirmed that the polymerization depth was not linearly proportional to the irradiation time. Maximum hardness was achieved around or on the surface and depending on the type and the quantity of load particles.

The dental composite resins commercially available have been continuously renewed. As a result, constant researches are required to provide information about the new composites intrinsic characteristics, so that the polymerization depth evaluation by microhardness tests could be useful to assist the practitioners regarding their clinical application.

Because of this, the purpose of this *in vitro* study was to evaluate the Vickers microhardness of four commercial composite resins at one to 4mm thick and color A3: Z-250 (3M - hybrid), Clearfil Majesty (Kuraray - micro

hybrid), Epicord (Kuraray - hybrid), and Natural Look (DFL, micro hybrid).

Material and Methods

Twenty specimens of each composite resin analyzed were prepared: Z-250, 3M - hybrid, Clearfil Majesty, Kuraray - micro hybrid, Epicord, Kuraray - hybrid, Natural Look, DFL, micro hybrid. For each group of composite resins, four specimens were prepared at different thicknesses: 1, 2, 3 and 4 mm, using circle matrices of black polypropylene with 4 mm diameters in the internal surface. Each matrix was placed on a glass plate to obtain a flat and smooth surface. To avoid the light reflection, the plates were previously placed on a dark card. Unpolymerized material was applied to molds with spatula Thompson number 12 until total filling out, which were covered with a polyester strip. For planning and straightened the surface, another glass slab was placed over the strip. For the composite resins photoactivation, the glass slab was removed and the halogen light was applied for 40 seconds, using a light-curing device Astralis 3 (Ivoclar, Vivadent) with light-intensity of 500 mW/cm², which was checked by a radiometer (Curing Lightmeter - Demetron Research Corporation, USA). The light tip was placed on perpendicular position to the surface, which was protected by a polyester strip, keeping the light center coincident with the specimen center. After polymerization, the specimens were stored in a dry and dark chamber at 37°C for one week. Then, they were placed on a parallelometer (Olympus), using a modeling material for fixation on discs contained on the equipment basis to obtain a surface parallelism during the measurements of microhardness values. Following, five measurements were made on the opposite surface of irradiation to obtain thicknesses of 1, 2, 3 and 4mm. Vickers microhardness was quantified using a digital microdurometer HMV (Shimatzu, Japan) with the CAMS Win software, using a load of 50 gf for 45 s. For quantifying the 0mm groups, 1mm matrices were used and hardness measurements were made on the irradiated surface. In this way, five thicknesses were analyzed for each composite resin (0, 1, 2, 3, and 4 mm).

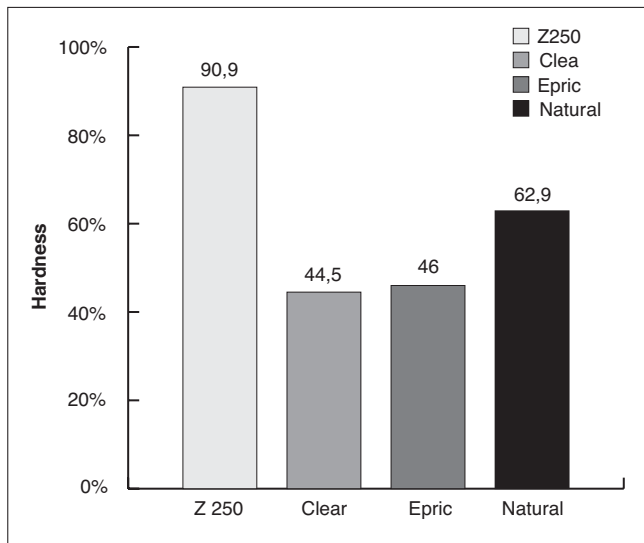
Results

The results consisted in five hundred microhardness values regarding to four composite resins, five thicknesses, five repetitions, and five measurements for each specimen (4 X 5 X 5 X 5 = 500). For each specimen the mean value was calculated from five measurements that resulted in one hundred data for each composite resin analyzed. Following, the thickness mean values were calculated for each composite resin, as summarized in the Table 1. Statistical analyzes were performed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey test to compare the mean values of each group at a significance level of 5% (p≤0.05).

Table 1. Vickers microhardness values (mean ± standard deviation) at a load of 50 gf for 45 s

	Z 250	Clear	Epr	Nat Look
0	90,9 ± 0,61	44,5 ± 3,26	46 ± 1,22	62,9 ± 2,73
1	87,4 ± 1,12	41,1 ± 2,11	34,7 ± 3,47	61,1 ± 3,80
2	83,6 ± 0,90	33,4 ± 1,61	25,4 ± 1,56	59,8 ± 4,25
3	75,9 ± 1,78	27,1 ± 4,23	16,1 ± 1,39	40,8 ± 3,78
4	64,2 ± 4,09	20,3 ± 4,97	1 ± 0	26 ± 2,99

The analysis of variance showed significant differences between the composite resin (F = 1836.91) and thickness (F = 430.79), and between the resin x thickness interaction (F = 12.62). In order to analyze individual features of each group, the Tukey (T = 6.68) was calculated on the composite resin x thickness value. For all the materials analyzed, the irradiated surface (0 mm) reached the greatest hardness value, and among all composite resins studied, Z-250 showed the greatest microhardness value (m = 90.9). Natural Look (m = 62.9) was harder than Clearfil Majesty (m = 44.5) and Epricord (m = 46); furthermore, no significant differences in hardness were observed among them (Graphic 1).



Graphic 1. Mean hardness values for the four composite resins on the irradiated surface – 0 mm (maximum hardness for each resin)

Graphic 2 shows the harness values that correspond to each composite resin analyzed at different thicknesses. For all composite resins analyzed, the hardness values decreased with increasing thickness.

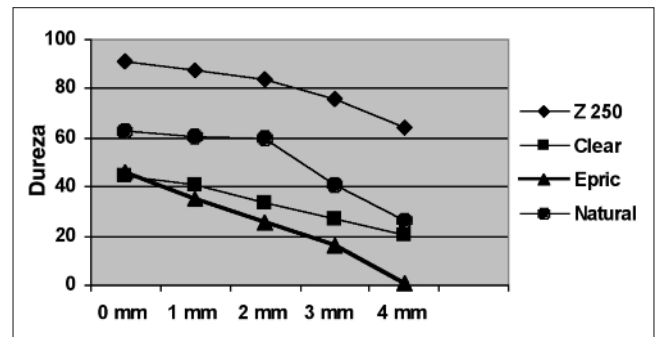
To evaluate the degree of polymerization for each composite resin at different thicknesses, the surface hardness value was used to calculate the hardness percentage. In this way, the hardness value of each specimen at every thickness was divided by the irradiated surface (0 mm) hardness. Data were used to calculate the maximum hardness percentage (MHP) for each thickness, as summarized in Table 2 and Graphic 3.

Table 2. Maximum hardness percentage (MHP) for specimens at 1 to 4 mm thick

	Z 250	Clear	Epr	Nat Look
1	95,6	92,2	75	95,2
2	91,4	74,6	54,6	93,6
3	83,2	60,2	35	64,6
4	70,2	45,2	2	41

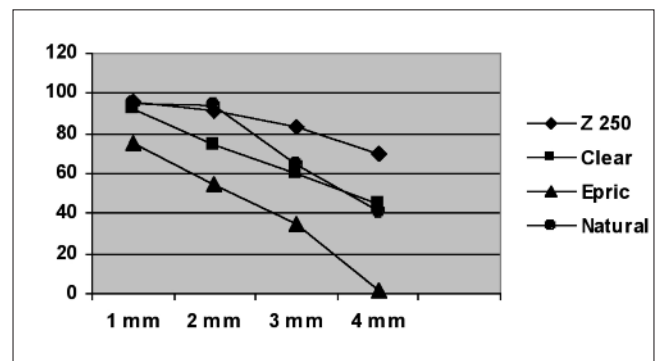
Values are showed in percentage

Based on the Table 2 data, the analysis of variance was calculated and significant differences were detected among the composite resins (F=235.07), among their thicknesses (F=331.10), and between the resin x thickness interaction (F=14.95). The Tukey Test was used to compare 16 mean values (T=12.12).



Graphic 2. Hardness for the composite resins at different thicknesses (0 to 4 mm)

Z-250, Clearfil e Natural Look resins did not show differences regarding MHP at 1mm; however, they were greater than Epricord. At 2 mm, only Z-250 and Natural Look resins showed similar characteristics. Clearfil showed the lowest values followed by Epricord. At 3mm, the degree of polymerization significantly decreased for all composite resins. While Z-250 showed the lowest degree of polymerization, the others showed higher degrees. The same pattern was observed at 4 mm.



Graphic 3. Maximum hardness percentage (MHP) for each composite resin at 1 to 4 mm thick

Discussion

Within new composite resins arising and the evolution of these materials, the researchers' interest in clarifying their mechanical proprieties has increased. The polymerization degree is one factor that influences on mechanical proprieties of composite resins. So that, the polymerization depth of composite resins has been studied by several authors in order to become easier to choose the best material, among the variety of materials commercially available^{6,19-20,23}. Several methods have been used to analyze the polymerization quality, among them the microhardness test⁷. The Vickers and Knoop microhardness tests are the most used techniques by researchers for decades^{10,17,24,26}.

Some factors could influence on microhardness of composite resins, as, for example, the composition of the composite; the restoration technique; the distance between the specimen and the polymerization center; the type of light-curing device; the photoactivation technique; the composite resin finishing and polishing; and the color of the matrix^{4,11,14-15,18,20-21,24}.

In the present study, various formulations of composite resins were analyzed in order to evaluate the microhardness values at different thicknesses, and consequently, their mechanical proprieties. Among the composite resins analyzed, Epicord showed to be adequate for the indirect technique. The others should be used only for the direct technique.

The hybrid resin Z-250 has been fully studied and it has been frequently used as the control group in researches regarding to microhardness²⁰. More recently, Epicord (hybrid resin), Clearfil Majesty (micro hybrid resin) and Natural Look (micro hybrid resin) resins were commercially available. Except few studies, there is a lack of information about intrinsic characteristics of these new composites. Sá *et al.*¹⁸ (2004) analyzed the microhardness of Epicord and Esthet X resins using different restoring techniques and storing conditions, observing the lowest values for Epicord. Analyzing some characteristics of indirect composite resins, as, for example, color, flexural strength, Knoop hardness and degree of conversion, Franco⁸ (2005) concluded that Epicord, Signum and Solidex showed the worst performance.

Nevertheless, according to the manufacturer, Epicord resin has bonding proprieties to the metal and intermediary resistance to compression around 450MPa, 90MPa of flexural strength, and 50 HV of hardness, showing high mechanical resistance. However, in this study, only on the irradiated surface, the hardness value of Epicord composite was similar to that specified by the manufacturer. Decreasing of hardness values with increasing of the thickness was also observed, being that Epicord did not polymerize at 4 mm.

Cotrina *et al.*⁴ (2003) used metallic matrices to manufacture specimens; however, as Turbino *et al.*²⁴ (2000) observed, the color of matrices could influence on the microhardness values. So that, the authors adopted dark shade polypropylene matrices, which showed better performance for the microhardness test than light shade ones.

The resin surface was planned making gently pressure on the glass slab overlapped on the specimen, which was protected by a polyester strip. Planning was required for the Vickers microhardness test because the surface analyzed should be smooth and parallel to the horizontal plan. To obtain the surface parallelism, a plane device comprising a metallic disc on the base was used. The specimen was placed on the disc using a fixative material. Similar to that described by Franco⁸ (2005), the device had a mobile stem that moved on the specimens by which the surface parallelism was succeeded.

Based on the literature, the halogen light showed the best results for composites polymerization, so that it was adopted in our study^{2,4,12,20}.

The intensity of 500 mW/cm² produced by the photoactivation device was checked using a radiometer, to do the study trustworthily¹⁶. Equally to that has broadly been described on the literature, we adopt 40 seconds as polymerization time. Some trials showed that the decreasing in hardness was proportional to the increasing in distance of the polymerization center²⁰. For this reason, the device light tip was juxtaposed and coincided with the center of the specimen. In an attempt to avoid characteristics changes of the specimens, resulting from a moist environment, samples were stored on dry chamber for one week. On the contrary, Peruzzo *et al.*¹³ (2003) and Carvalho *et al.*³ (2005) stored the samples in distilled water. Similarly to that described by Faria⁶ (2003) and Turbino²⁴ (2004), we used dark containers for the specimens' storage, in order to avoid size changes that could be induced by light.

With reference to the literature, we noticed the load and the interval of time used in the trials methodologies were not standardized^{4,6,21}.

Overall the results showed higher hardness values on the irradiated surface (0 mm) when compared with the opposite surface of irradiation, probably due to the nearby of the light source to specimens²⁰. Among the resins evaluated at this trial, Epicord showed the lowest microhardness values, in agreement to the results observed by Franco⁸ (2005) and Sá *et al.*¹⁸ (2004). Additionally, the 4mm group could not be polymerized. The Epicord resin was originally suggested for indirect restorations; however, several practitioners have currently used it for direct restorations of posterior teeth. Therefore, Epicord was analyzed in the present trial. The lowest microhardness values found for this composite were probably due to its intrinsic characteristics, as, for example, particles size, and low coefficient of light transmission¹⁹. According to Santos¹⁹ (2003), the small size of the particles interferes on light transmission, provoking dispersion and limiting the resin polymerization in the depth. For all composites evaluated, the highest microhardness values were proportional to the lowest thicknesses.

Another factor that could have influenced our results was the quantity of energy during the light transmission through the material. According to Rissi and Cabral¹⁶

(2002), composite resins at large thicknesses were not totally polymerized due to energy reduction subsequently to light transmission. Turbino²³ (2004), also observed the lowest microhardness values for a microparticulated resin, which was satisfactorily polymerized only at 1 mm thick. The hybrid composite resin Z-250 presented higher microhardness than other groups, similar that described by Turbino²³ (2004).

According to Watts *et al.*²⁶ (1984), the resin could be satisfactorily polymerized with at least 80% of hardness value on the irradiated surface.

It can be seen from the Table 2 (MHP values of the resin) that the Z-250 resin achieved 80% of the maximum hardness until 3 mm thick. In comparison, Natural Look presented more than 80% of maximum hardness until 2 mm thick, and the other ones showed values lower than 80% from 1mm thick. Based on this information, we strongly suggest that for the Z-250 resin was

possible to use increments until 3 mm thick; whereas for Natural Look, the increments should not exceed 2 mm, and for Clearfil Majesty and Epricord, the increments should not exceed 1 mm. In short, these data are very useful for the practitioners who should be sure about the best restoring technique to be adopted previously the composite resin choice.

Conclusions

Based on the literature and our results, the following conclusions were drawn:

1. For all composite resins analyzed, the decreasing in microhardness values was proportional to the increasing in thickness.

2. The Z-250 resin might be used in increments until 3mm thick; while Natural Look should not exceed 2 mm, Epricord and Clearfil Majesty should not exceed 1 mm.

References

1. Asmussen E. Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res.* 1982;90(6):484-9.
2. Belan LC. Microdureza da resina composta ativada com luz halógena e laser de argônio na técnica de pulso-espera [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo; 2004.
3. Carvalho JC, Torres CR, Araújo RM, Carvalho JPB, Araújo MAM. Influência do ácido láctico sobre a microdureza de resinas compostas. *RGO (Porto Alegre).* 2005; 53(1):7-11.
4. Cotrina LAD, Sousa AM, Pereira SK, Gomes OM, Gomes JC. Efeito de diferentes sistemas de fotopolimerização na microdureza de uma resina composta Bleach Shade. *JBD Rev Iberoam Odontol Estet Dent.* 2003;2(8):348-57.
5. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. *J Am Dent Assoc.* 2002; 133(4):429-34.
6. Faria GB. Avaliação "in vitro" da microdureza superficial e profunda de resinas compostas fotoativadas com o tempo de exposição preconizado pelos fabricantes, outros tempos e incrementos únicos de 2 e 3 mm [Dissertação de Mestrado]. Natal: Departamento de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2003.
7. Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res.* 1986;20(1):121-31.
8. Franco LL. Avaliação da resistência à flexão, dureza, grau de conversão de compósitos para a técnica indireta em função da cor [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo; 2005.
9. Machado CT, Porto Neto ST, Cruz CAS, Loffredo LCM. Avaliação da microdureza de uma resina composta híbrida submetida a três tipos de aparelhos fotopolimerizadores. *JBC J Bras Clin Odontol Integr.* 2002;6(32):165-9.
10. Mandarino F, Porto CLA, Fontana UF, Cândido MSM, Oliveira Jr OB. Efeito da tonalidade de cor sobre a profundidade de polimerização das resinas compostas fotopolimerizáveis. *Rev Bras Odontol.* 1992;49(5):38-41.
11. Nema N, Vilchez B, Lafuente JD. Effect of polishing method on surface microhardness of composite [abstract]. *J Dent Res.* 2000;79(Special Issue):365.
12. Pereira SK, Rastelli, ANS, Souza CD, Bortoli D. Novas fontes de polimerização: efeito da luz halógena e Led's na microdureza de resinas compostas. *RGO (Porto Alegre).* 2004;52(1):7-12.

13. Peruzzo V, Souza FHC, Klein Jr CA, Campo LM, Macedo RP. Microdureza superficial da resina composta. *RGO (Porto Alegre)*. 2003;51(2):112-6.
14. Porto FR. Avaliação da efetividade de métodos de acabamento e polimento de resina composta, antes e após ciclagem mecânica [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.
15. Reis AC, Panzeri H. Medida de dureza superficial e da resistência à compressão de uma resina composta condensável submetida à condensação manual e mecânica. *RPG Rev Pós-Grad*. 2001;8(4):301-5.
16. Rissi RC, Cabral A. Fotopolimerização: principais variáveis clínicas que podem interferir no processo. *Rev Assoc Paul Cir Dent*. 2002;56(2):123-8.
17. Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. Micro-indentation hardness. *J Dent Res*. 1961;40(6):1116-26.
18. Sá PM, Rocha PI, Mesquita AMM, Araújo MAM, Valera MC. Influência do etanol e do ácido cítrico na microdureza de resinas compostas. *Rev Odonto Ciênc*. 2004;19(46):310-5.
19. Santos GB. Estudo da microdureza Knoop e do grau de conversão de um compósito em função da profundidade e fontes ativadoras [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2003.
20. Santos LA. Avaliação da extensão da polimerização superficial da resina composta por meio de teste de microdureza [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2002.
21. Say EC, Civelek A, Nobecourt A, Ersoy M, Guleryus C. Wear and microhardness of different resin composite materials. *Oper Dent*. 2003;28(5): 628-34.
22. Tate WH, Porter KH, Dosch RO. Successful photocuring: don't restore without it. *Oper Dent*. 1999; 24(2):109-14.
23. Turbino ML. Profundidade de polimerização de resina composta ativada com laser de Argônio [Tese de Livre Docência]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da Universidade São Paulo; 2004.
24. Turbino ML, Santos LA, Matson E. Microdureza de resina composta fotopolimerizável: a cor da matriz experimental pode alterar os resultados dos testes? *Pesqui Odontol Bras*. 2000;14(3):232-6.
25. Verheyen P. Photopolymerization with the argon laser. *J Oral Laser Applic*. 2001;1(1):49-54.
26. Watts DC, Amer O, Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite systems. *Br Dent J*. 1984;156(6):209-15.
27. Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J*. 1985;35(3):218-25.

Received in 02/3/2007

Accepted in 03/05/2007