

Influência do comprimento e tratamento superficial de fibras de vidro na resistência flexural de barras de resina acrílica

Influence of fiber glass size and surface treatment on flexural strength of acrylic resin bars

Rodrigo B. FONSECA¹, Amanda V. B. KASUYA², Isabella N. FAVARÃO², Janaína C. MIOTTO³, Lawrence G. LOPES¹.

1 - Professor Adjunto da Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Goiás, Departamento de Odontologia Restauradora, Goiânia, Goiás, Brasil.

2 - Mestranda em Clínica Odontológica, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.

3 - Graduada em Odontologia pela Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil.

RESUMO

Objetivo: O presente trabalho avaliou a resistência flexural em barras de resina acrílica variando o tratamento superficial e o comprimento das fibras de vidro. **Material e Método:** Nove grupos experimentais foram criados (N=10), tendo como fatores em estudo o comprimento da fibra de vidro pura (Unidirecional 23 mm (Uni23) e Picotada 3 mm (Pic3)) e o tipo de tratamento de superfície (sem tratamento (Ctrl), silanização (Sil), impregnação com adesivo a base de bisGMA (Imp) e silanização + impregnação com adesivo a base de bisGMA (Imp/Sil)). Amostras (25x2x2 mm) foram produzidas e testadas a 0,5 mm/min obtendo-se os valores de resistência flexural em Mpa. Re-

sultados: A análise estatística demonstrou diferença significativa ($p=0,001$) para os fatores: tratamento superficial (Imp: $297,95 \pm 73,86A$; Sil/Imp: $265,3 \pm 64,21AB$; Sil: $229,2 \pm 72,47B$; Controle: $164,9 \pm 34,92C$) e comprimento de fibra (Uni23: $266,5 \pm 89,57a$; Pic3: $212,17 \pm 57,31b$). A interação entre os dois em fatores em estudo não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p=0,098$). **Conclusão:** As fibras de vidro, independente do seu comprimento, promovem o reforço significativo de resinas acrílicas quando tratadas superficialmente com adesivo bis-GMA, silano ou a combinação de ambos.

PALAVRAS-CHAVES: Resistência de materiais, Resinas acrílicas, Fibras de vidro.

INTRODUÇÃO

A confecção de próteses provisórias durante o tratamento protético é necessária para o estabelecimento antecipado dos parâmetros funcionais e estéticos que serão efetivamente mantidos nas próteses definitivas^{1,2}. Estas próteses são usualmente confeccionadas em resina acrílica autopolimerizável, entretanto, dependendo de alguns fatores, tais como tipo de oclusão do paciente, potência muscular, e desenho estrutural das próteses, estas podem fraturar, fato comumente observado na prática clínica. As regiões mais propensas a fratura são aquelas localizadas onde a estrutura protética deforma sob tensão de tração³⁻⁵ e, portanto, estas regiões têm sido alvo de tentativas de reforço estrutural^{3,6}.

Desde o início da década de 70, as fibras de carbono, polietileno, aramida e de vidro passaram a ser usadas como alternativa de reforço estrutural de resinas acrílicas⁷, destacando-se as fibras de vidro, por apresentarem alta resistência à tração e aparência estética, tendo sido amplamente estudadas na confecção de infra-estrutura de reforço protético^{3,6,8}, confecção de pinos⁹, entre outros.

A eficácia do reforço com fibra de vidro é dependente de muitas variáveis, incluindo o comprimento^{3,10,11}, a arquitetura¹², o diâmetro das fibras^{2,13}, a quantidade de fibras na matriz¹¹, localização e posição das fibras^{3,6,13}, bem como a adesão com a matriz⁶.

Quanto maior a quantidade de fibras de vidro localizadas na zona de tensão de tração da prótese, maior será o efeito de reforço¹⁴. Quando a direção de maior tensão é conhecida as fibras

unidirecionais tendem a produzir maiores valores de resistência devido ao reforço anisotrópico (reforço mais eficiente em uma direção), sendo então preferíveis às multidirecionais^{8,15}, que proporcionam efeito de reforço isotrópico (em qualquer direção)¹⁶.

A adesão e a impregnação das fibras à matriz polimérica afeta o grau de reforço¹⁷, pois garante transferência de tensão eficaz da matriz polimérica para as fibras^{5,18}. Restaurações provisórias reforçadas com fibras impregnadas apresentam maior resistência à fratura quando comparadas aos reforços com fibras não impregnadas¹⁹. Entretanto, pesquisas apontam que a maior parte das falhas em fratura ocorrem na interação das fibras com a resina que as reveste¹⁹.

As fibras de vidro silanizadas possuem maior energia de superfície e tendem a ser melhor impregnadas, resultando em melhor aderência a polímeros²⁰. Além disto, caso as fibras sejam pré-impregnadas com monômeros resinosos, resultam em maior resistência no reforço de próteses¹⁹. Mediante o emprego de 3% (em peso) de diversos tipos de fibras, sem nenhum tratamento superficial, Dogan *et al.*²¹ verificaram que esse procedimento não resultou em reforço estrutural em barras de resina acrílica, demonstrando que o uso de tratamento superficial parece ser um importante passo.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a resistência flexural em barras de resina acrílica autopolimerizável, variando o tipo de tratamento superficial das fibras de vidro (pré-impregnadas com adesivo puro; não pré-impregnadas; silanizadas; não silanizadas) e o tipo de fibra de vidro (unidirecional; picotada). De acordo com a possibilidade adesiva entre fibra de vidro e polí-

meros²⁰, espera-se que o tratamento de superfície com silano e adesivo a base de bis-GMA resulte nos maiores valores de resistência flexural independentemente do comprimento de fibra de vidro utilizado.

MATERIAL E MÉTODO

Nove grupos experimentais foram criados (N= 10), tendo como fatores em estudo o comprimento da fibra de vidro pura (Unidirecional 23 mm (Uni23) e Picotada 3 mm (Pic3)) e o tipo de tratamento de superfície (sem tratamento (Ctrl), silanização (Sil), impregnação com adesivo a base de bisGMA (Imp) e silanização + impregnação com adesivo a base de bisGMA (Imp/Sil)). Os materiais empregados e respectivos fabricantes estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais empregados no estudo.

| Material | Lote | Fabricante |
|---|--------|---|
| Fibra de vidro Pura | ** | Maxxi Rubber, São Paulo, Brasil |
| Silano (agente de união) | 10916 | Angelus Indústria de Produtos Odontológicos S/A, Londrina, Brasil |
| Resina Acrílica Autopolimerizável | 030211 | Artigos Odontológicos Clássico Ltd, São Paulo, Brasil |
| Adesivo do Sistema Adesivo Scotchbond | 417329 | 3M-ESPE |
| Lixas de Carbetto de Silício 600, 1000 e 1200 | ** | Norton Abrasivos |

Confecção das amostras

Um molde de silicone foi construído a partir de um padrão de alumínio a fim de permitir a confecção padronizada das amostras nas dimensões de 25 mm ($\pm 2,0$) x 2 mm ($\pm 0,1$) x 2 mm ($\pm 0,1$), estando de acordo com ISO4049/2000²². Os reforços de fibra de vidro pura foram recortados nas dimensões estabelecidas (3 e 23 mm) e em cada espécime padronizou-se a quantidade de reforço em 0,01g em peso, medidos em balança de precisão (HR-200, A&D Company Limited, Japan).

Os tratamentos de superfície para as fibras de vidro estabelecidos foram: para os grupos Sil as fibras foram silanizadas por 1 minuto; nos grupos Imp as fibras foram impregnadas com adesivo por meio de pincel microbrush; nos grupos Sil/Imp as fibras foram primeiramente silanizadas por 1 minuto e posteriormente o adesivo foi aplicado. Os tratamentos de superfície das fibras foram realizados antes de sua inserção na resina acrílica (JET, Artigos Odontológicos Clássico Ltd, São Paulo, Brasil).

Para os grupos Uni23, a fim de facilitar a inserção das fibras, uma fina camada de resina (0,5 mm) foi inserida no molde de silicone onde as fibras foram posicionadas e então cobertas com uma segunda camada de resina acrílica manipulada nas proporções pó/liquido estipuladas pelo fabricante. Já nos grupos Pic3 as fibras com seus respectivos tratamentos de superfície foram incorporadas no pó de resina acrílica, a resina foi manipulada seguindo as proporções pó/liquido estipuladas pelo fabricante e então inseridas em um único incremento no molde de silicone.

Para todos os grupos experimentais os moldes contendo os espécimes foram cobertos com tira de poliéster e submetidos a carga de 1000g a temperatura ambiente por 20 minutos, sendo os excessos removidos.

Após a confecção das amostras, as mesmas foram acabadas com lixas de carbetto de silício nas granulações 600, 1000 e 1200 manualmente em água corrente. Posteriormente, foram armazenadas em água destilada a 37°C por 24 horas para início do teste de resistência flexural.

Teste de Resistência Flexural

As amostras foram posicionadas em máquina de ensaio universal (KRATOS K5005 MP, Cotia, SP, Brazil) sobre dois pontos com 20 mm de distância entre si e equidistantes do centro, onde uma carga a velocidade constante de 0,5 mm/min foi aplicada e a carga máxima à fratura registrada em N. A resistência flexural de cada amostra foi obtida, em MPa, de acordo com a seguinte fórmula: $R=PL/wb^2$, onde "P" é a carga máxima aplicada até a fratura, "L" é a distância entre os apoios (20 mm), "w" é a espessura da amostra (2,0 mm) e "b" a altura (2 mm).

Análise dos dados coletados

Os dados coletados referentes à resistência flexural foram analisados estatisticamente no programa SSPS17.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). A análise estatística foi realizada através do teste de distribuição normal de Kolmogorov-Smirnov e posteriormente pela análise fatorial em modelo linear geral (2x4) para explorar a interação entre os fatores em estudo. Os testes ANOVA *one-way* seguido do teste de Tukey foram realizados para comparar a efetividade dos tratamentos de superfície. Já para comparações entre os tipos de reforços o teste T-student foi utilizado. Todos os testes foram realizados com 5% de nível de significância.

RESULTADOS

A análise estatística realizada através de um modelo linear geral constatou que os fatores tratamento superficial ($p= 0,001$) e comprimento de fibra ($p= 0,001$) apresentaram significância estatística. Já a interação entre estes dois fatores não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p= 0,098$). Cada fator foi então comparado separadamente e os resultados estão apresentados na Tabela 2. Para o fator tratamento de superfície, o método que obteve melhor resultado foi a impregnação com adesivo puro (Imp), sendo este estatisticamente semelhante aos grupos com aplicação de silano + impregnação com adesivo (Sil/Imp); em seguida, os grupos com aplicação exclusiva de silano (Sil) foram semelhantes ao método Sil/Imp. O grupo controle, sem tratamento superficial, obteve os menores valores de resistência flexural. Para o fator comprimento das fibras de reforço, o comprimento de 23 mm foi estatisticamente superior ao comprimento de 3 mm.

A comparação entre todos os grupos foi realizada pelos testes ANOVA e Tukey (Tabela 3), demonstrando que os maiores valores de resistência flexural foram obtidos pelos grupos que receberam qualquer um dos tratamentos superficiais das fibras e foram reforçados com Uni23, seguidos pelos Pic3. Os grupos que receberam somente o reforço com fibra, sem tratamento superficial, foram semelhantes ao controle sem reforço. O maior valor de resistência flexural obtido foi no grupo Uni23+Imp, seguido pelo grupo Uni23+Sil/Imp, que foi similar ao Uni23+Imp e Uni23+Sil. Os grupos Uni23+Sil, Pic3+Imp e Pic3+Sil/Imp foram semelhantes entre si e semelhantes ao grupo Pic3+Sil. Em seguida, o grupo Pic3+Sil obteve maiores valores de resistência que os grupos controle que

utilizaram fibra de reforço (Uni23+Ctrl e Pic3+Ctrl) ou pelo grupo controle sem nenhum reforço, sendo estes 3 grupos controle semelhantes entre si.

Tabela 2. Média e desvio padrão para Resistência Flexural (MPa), para as médias gerais dos fatores tratamento superficial das fibras e comprimento de fibra empregado. Comparações estatísticas pelos testes ANOVA e Tukey e teste T de student ($\alpha=0,05$).

| Tratamento Superficial | Médias \pm DP (MPa) |
|----------------------------|-----------------------|
| Adesivo (Imp) | 297,95 \pm 73,86 A |
| Silano + adesivo (Sil/Imp) | 265,3 \pm 64,21 AB |
| Silano (Sil) | 229,2 \pm 72,47 B |
| Controle | 164,9 \pm 34,92 C |
| Comprimento de Fibra | Médias \pm DP (MPa) |
| 23 mm (Uni23) | 266,5 \pm 89,57 a |
| 3 mm (Pic3) | 212,17 \pm 57,31 b |

Letras diferentes demonstram diferença estatisticamente significativa com $p < 0,05$ em cada fator analisado. DP: desvio padrão.

Tabela 3. Média e desvio padrão para Resistência Flexural (MPa), para todos os grupos experimentais. Comparações estatísticas pelos testes ANOVA e Tukey ($\alpha=0,05$).

| Grupos | Médias \pm DP (MPa) |
|---------------|-----------------------|
| Uni23+Imp | 349,7 \pm 58,95 A |
| Uni23+Sil/Imp | 295,3 \pm 71,34 AB |
| Uni23+Sil | 246,9 \pm 75,18 BC |
| Pic3+Imp | 246,2 \pm 45,74 BC |
| Pic3+Sil/Imp | 235,3 \pm 40,2 BC |
| Pic3+Sil | 211,51 \pm 68,83 C |
| Uni23+Ctrl | 174,1 \pm 44,99 D |
| Pic3+Ctrl | 155,7 \pm 19,03 D |
| Ctrl | 101,47 \pm 19,79 D |

Letras maiúsculas diferentes demonstram diferença estatisticamente significativa com $p < 0,05$. DP: desvio padrão.

DISCUSSÃO

Fibras de vidro são conhecidas por reforçar os polímeros dentais^{3,5,23}. O presente estudo comparou o efeito de diferentes comprimentos de fibras com diversos métodos de tratamento de superfície na resistência flexural de barras de resina acrílica autopo-

limerizável. Foi inicialmente hipotetizado que os tratamentos de superfícies das fibras de reforço, sejam eles a silanização ou a pré-impregnação com adesivo a base de bis-GMA, melhorariam os valores de resistência flexural de barras de resina acrílica. O presente estudo demonstrou que independentemente do método utilizado para o tratamento superficial dos reforços de fibras houve aumento nas propriedades mecânicas da resina acrílica, confirmando esta hipótese. Foi também hipotetizado que o uso de fibra de vidro como reforço, independentemente do comprimento, promoveria reforço das barras de resina acrílica. Esta hipótese foi parcialmente aceita, pois o reforço só foi obtido quando algum método de tratamento superficial foi empregado as fibras. O comprimento das fibras e a interação da fibra com a matriz polimérica podem ser as razões para os resultados obtidos.

Sabe-se que deve haver uma íntima relação entre a resina acrílica e as fibras permitindo assim a adesão entre a matriz resinosa e o reforço. A fim de melhorar essa adesão entre o polímero e as fibras de vidro o agente de união silano tem sido utilizado²⁰. O presente estudo demonstrou que o adesivo a base de bis-GMA obteve melhores resultados de resistência flexural, o que possivelmente demonstra melhor adesão entre as fibras e a matriz resinosa no uso desse material quando comparado ao silano. De acordo com o estudo de Vallitu²⁰, a possível causa para a menor adesão no uso de silano como tratamento superficial pode ter sido a dificuldade de molhamento da resina acrílica, impedindo a ação efetiva do silano.

É conhecido que fibras unidirecionais posicionadas perpendicularmente a direção da força aplicada apresentam comportamento anisotrópico o que resulta em valores mais altos de resistência^{4,16}, fato encontrado nos resultados obtidos com os grupos Uni23. Entretanto, no reforço anisotrópico as forças que não são perpendiculares ao longo eixo das fibras tendem a produzir falhas mais facilmente⁸, fato que não pode ser avaliado no presente estudo devido a metodologia empregada.

Devido ao pequeno comprimento das fibras, os grupos Pic3 se comportaram como reforços multidirecionais apresentando resultados com valores mais baixos de resistência flexural. Os reforços de fibras multidirecionais apresentam menores valores de resistência quando comparados as fibras unidirecionais^{4,24}, apresentando comportamento isotrópico, onde o reforço não está relacionado com uma única direção da força aplicada²⁵.

Em geral, o reforço de resina acrílica com fibras de vidro produziu bons valores de resistência flexural quando tratamentos de superfície foram empregados para melhorar a adesão entre a matriz resinosa e o reforço. Próteses provisórias ou até mesmo definitivas podem empregar esses tipos de reforços a fim de melhorar sua longevidade e facilitar o seu reparo. A associação de fibra de vidro não pré-impregnada com os tratamentos superficiais descritos apresenta como vantagem o baixo custo e o fácil manuseio podendo ser empregada pelo clínico. Estudos futuros são necessários para esclarecer a interação entre os reforços e a resina utilizadas nos diferentes tipos de tratamentos de superfícies.

CONCLUSÃO

As fibras de vidro, independente do seu comprimento, promovem o reforço significativo de resinas acrílicas quando tratadas superficialmente com adesivo bis-GMA, silano ou a combinação de ambos;

O reforço unidirecional é preferível quando a direção de tensão é conhecida;

O tratamento superficial, independente do agente utilizado, é

um importante passo para garantir a boa adesão entre o reforço e o polímero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Soares CJ, Pizi EC, Fonseca RB, Barbosa GAS, Martins LRM, Fernandes Neto AJ. Importância do Emprego de Próteses Provisórias na Recuperação de Dimensão Vertical Viabilizando Procedimentos Restauradores Diretos. *J B A*. 2004;4:27-32.
- Parker HM. Psychological implications of provisional prostheses. *Dent Clin North Am*. 1989 Jul;33(3):343-53.
- Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dent Mater*. 2004 Dec;20(10):947-55.
- Magne P, Perakis N, Belser UC, Krejci I. Stress distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures: a finite element analysis of the influence of restorative materials and abutment preparation design. *J Prosthet Dent*. 2002 May;87(5):516-27.
- Geerts GA, Overturf JH, Oberholzer TG. The effect of different reinforcements on the fracture toughness of materials for interim restorations. *J Prosthet Dent*. 2008 Jun;99(6):461-7.
- Lassila LV, Vallittu PK. The effect of fiber position and polymerization condition on the flexural properties of fiber-reinforced composite. *J Contemp Dent Pract*. 2004 May 15;5(2):14-26.
- Schreiber CK. Polymethylmethacrylate reinforced with carbon fibres. *Br Dent J*. 1971 Jan 5;130(1):29-30.
- Behr M, Rosentritt M, Lang R, Handel G. Flexural properties of fiber reinforced composite using a vacuum/pressure or a manual adaptation manufacturing process. *J Dent*. 2000 Sep;28(7):509-14.
- Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater*. 2004 Jan;20(1):29-36.
- Song HY, Yi YJ, Cho LR, Park DY. Effects of two preparation designs and pontic distance on bending and fracture strength of fiber-reinforced composite inlay fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. 2003 Oct;90(4):347-53.
- Callaghan DJ, Vaziri A, Nayeb-Hashemi H. Effect of fiber volume fraction and length on the wear characteristics of glass fiber-reinforced dental composites. *Dent Mater*. 2006 Jan;22(1):84-93.
- Karbhari VM, Strassler H. Effect of fiber architecture on flexural characteristics and fracture of fiber-reinforced dental composites. *Dent Mater*. 2007 Aug;23(8):960-8.
- Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of cross-sectional design on the modulus of elasticity and toughness of fiber-reinforced composite materials. *J Prosthet Dent*. 2005 Sep;94(3):219-26.
- Dyer SR, Sorensen JA, Lassila LV, Vallittu PK. Damage mechanics and load failure of fiber-reinforced composite fixed partial dentures. *Dent Mater*. 2005 Dec;21(12):1104-10.
- Behr M, Rosentritt M, Leibrock A, Schneider-Feyrer S, Handel G. In-vitro study of fracture strength and marginal adaptation of fibre-reinforced adhesive fixed partial inlay dentures. *J Dent*. 1999 Feb;27(2):163-8.
- Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV. Use of short fiber-reinforced composite with semi-interpenetrating polymer network matrix in fixed partial dentures. *J Dent*. 2006 Dec 28.
- Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent*. 1999 Mar;81(3):318-26.
- Straioto FG, Alves R, Filho AP, Del Bel Cury AA. Polytetrafluoroethylene added to acrylic resin: surface properties and *Candida albicans* adherence. *Am J Dent*. 2010 Aug;23(4):201-4.
- Pfeiffer P, Grube L. In vitro resistance of reinforced interim fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. 2003 Feb;89(2):170-4.
- Vallittu PK. Curing of a silane coupling agent and its effect on the transverse strength of autopolymerizing polymethylmethacrylate-glass fibre composite. *J Oral Rehabil*. 1997 Feb;24(2):124-30.
- Dogan OM, Bolayir G, Keskin S, Dogan A, Bek B. The evaluation of some flexural properties of a denture base resin reinforced with various aesthetic fibers. *J Mater Sci Mater Med*. 2008 Jun;19(6):2343-9.
- ISO Standard 2000. ISO 4049 Polymer based filling, restorative and luting materials. International Organization for Standardization 3rd edition. 1-27.
- Vallittu PK. The effect of void space and polymerization time on transverse strength of acrylic-glass fibre composite. *J Oral Rehabil*. 1995 Apr;22(4):257-61.
- Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater*. 1992 May;8(3):197-202.
- Lastumaki TM, Lassila LV, Vallittu PK. Flexural properties of the bulk fiber-reinforced composite DC-tell used in fixed partial dentures. *Int J Prosthodont*. 2001 Jan-Feb;14(1):22-6.

ABSTRACT

Objective: This study evaluated the flexural strength of acrylic resin bars by varying the surface treatment and the length of glass fiber. **Material and Methods:** Nine experimental groups were established (N = 10), with factors in study the length of the pure glass fiber (Unidirectional 23mm (Uni23) and short 3mm (Pic3)) and the type of surface treatment (untreated (Ctrl), silanization (Sil), impregnation with BisGMA adhesive (Imp) and silanization + impregnation with BisGMA adhesive (Imp / Sil)). Samples (25x2x2 mm) were produced and tested at 0.5 mm / min obtaining flexural strength values in MPa. **Results:**

Statistical analysis showed a significant difference (p = 0.001) for the factors: surface treatment (Imp: 297.95 ± 73.86 A; Sil / Imp: 265.3 ± 64.21 AB; Sil: 229.2 ± 72.47 B; control: 164.9 ± 34.92 C) and fiber length (Uni23: 266.5 ± 89.57 a; Pic3: 212.17 ± 57.31 b). The interaction between the two factors in the study showed no statistically significant difference (p = 0.098). **Conclusion:** Glass fibers, independent of its length, promotes a significant reinforcement of acrylic resins when its surface are treated with bis-GMA adhesive, silane or a combination of both.

KEYWORDS: Material Resistance, Acrylic resins, Glass fibers.

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Fonseca
Faculdade de Odontologia – Universidade Federal de Goiás
Praça Universitária esquina com 1ª Avenida, s/n, Setor Universitário

Goiânia - GO – Brasil. CEP: 74605-220
e-mail: rbfonseca.ufg@gmail.com
Tel.: +55-62-32096325. / Fax: +55-62-32096054.