

# Análise Morfológica de Superfícies Dentinárias Irradiadas com os Lasers de Er:YAG e Er,Cr:YSGG

## Morphological Analysis of Dentin Surfaces Irradiated With Er:YAG and Er,Cr:YSGG Lasers

Simone Gonçalves Moretto<sup>a\*</sup>; Nilton Azambuja-Junior<sup>b</sup>; Victor Elias Arana-Chavez<sup>c</sup>; André Figueiredo Reis<sup>d</sup>; Marcelo Giannini<sup>e</sup>; Carlos de Paula Eduardo<sup>f</sup>; Patricia Moreira de Freitas<sup>g</sup>

### Resumo

Avanços na tecnologia introduziram o laser como uma ótima alternativa na remoção seletiva do tecido cariado. Entretanto, o efeito dos lasers e seus diferentes parâmetros nos tecidos duros dentais não foram completamente estudados. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da irradiação com os lasers de Er: YAG (erbium:yttrium-aluminum-garnet) e Er,Cr:YSGG (erbium,chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet) na morfologia da dentina. Quatorze discos de dentina obtidos de terceiros molares humanos hígidos foram seccionados no sentido mesio-distal com o objetivo de se obter vinte e sete hemi-discos que foram aleatoriamente divididos em 9 grupos (n=3): G1 – Controle (não irradiado); G2 – Laser de Er:YAG 250 mJ/4 Hz; G3 – Laser de Er:YAG 200 mJ/4 Hz; G4 – Laser de Er:YAG 180 mJ/10 Hz; G5 – Laser de Er:YAG 160 mJ/10 Hz; G6 - Laser de Er,Cr:YSGG 2W/20 Hz; G7 - Laser de Er,Cr:YSGG 2.5W/20 Hz; G8 - Laser de Er,Cr:YSGG 3W/20 Hz; G9 - Laser de Er,Cr:YSGG 4W/20 Hz. As amostras foram processadas e destinadas à avaliação em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para análise morfológica de superfície. A análise morfológica revelou para os grupos irradiados uma superfície irregular, com aparência escamosa, sem *smear layer* e com os túbulos dentinários abertos. Os resultados deste estudo in vitro sugerem que a irradiação com os lasers de Er:YAG e Er,Cr:YSGG promovem um padrão morfológico específico da superfície dentinária.

**Palavras-chave:** Dentina. Lasers. Microscopia Eletrônica de Varredura.

### Abstract

Improvements on technology have introduced the laser as a great alternative for selective removal of dental caries. However, the different laser parameters and their effects on dental hard tissues have not been completely studied yet. The aim of the present study was to evaluate the effect of Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser irradiation on dentin surface morphology. Fourteen dentin disks, obtained from sound human third molars, were sectioned in the mesio-distal direction in order to obtain twenty-seven dentin hemi-disks that were randomly divided into 9 groups (n=3): G1 – Control, G2 – Er:YAG Laser 250 mJ/4 Hz; G3 – Er:YAG Laser 200 mJ/4 Hz; G4 – Er:YAG Laser 180 mJ/10 Hz; G5 – Er:YAG Laser 160 mJ/10 Hz; G6 - Er,Cr:YSGG Laser 2W/20 Hz; G7 - Er,Cr:YSGG Laser 2.5W/20 Hz; G8 - Er,Cr:YSGG Laser 3W/20 Hz; G9 - Er,Cr:YSGG Laser 4W/20 Hz. The specimens were processed by Scanning Electron Microscopy (SEM) for surface morphological analysis. The evaluation of the micrographs showed an irregular scaly surface in the irradiated groups, free of smear layer and with open dentinal tubules. The findings of this in vitro study showed that both Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser irradiation resulted in a specific morphological pattern of dentin.

**Key-words:** Dentin. Lasers. Scanning Electron Microscopy.

<sup>a</sup> Doutoranda do curso de Odontologia da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: simoretto@yahoo.com.

<sup>b</sup> Doutorando do curso de Odontologia da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: niltonazjr@gmail.com

<sup>c</sup> Doutor em Ciências – Biologia Celular e Tecidual. Docente da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: vearana@usp.br

<sup>d</sup> Doutor em Clínica Odontológica – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Docente da Faculdade de Odontologia da Universidade de Guarulhos (UnG). E-mail: reisandre@yahoo.com

<sup>e</sup> Doutor em Clínica Odontológica – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Docente da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). E-mail: giannini@fop.unicamp.br.

<sup>f</sup> Doutor em Dentística – Universidade Estadual de São Paulo (USP). Docente da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: cpeduard@usp.br.

<sup>g</sup> Doutora em Dentística – Universidade de São (USP). Docente da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: pfreitas@usp.br.

\* Endereço para correspondência: Universidade de São Paulo, Av. Professor Lineu Prestes, S/N, CEP. 05508-000, São Paulo-SP

### 1 Introdução

Durante os últimos anos, a demanda por restaurações estéticas vem aumentando significativamente. Os atuais conceitos de adesão têm preconizado a realização de

procedimentos minimamente invasivos e conservadores na restauração de dentes que tiveram parte de sua estrutura dental perdida devido a lesões de cárie ou trauma<sup>26</sup>.

Desde a realização dos primeiros estudos sobre os efeitos do laser na estrutura dental, em 1965<sup>8</sup>, avanços nessa tecnologia têm desenvolvido novos equipamentos com diferentes comprimentos de onda, para uso em diversas especialidades da Odontologia como, por exemplo, a realização de preparos cavitários e remoção seletiva de tecido cariado<sup>1,2,10,17,19</sup>.

De acordo com o parâmetro utilizado, o laser pode promover o condicionamento da superfície dental ou mesmo remover o tecido irradiado (processo de ablação)<sup>5,18,22,23,27</sup>. Com parâmetros utilizados para a realização de preparos cavitários, o laser provoca micro explosões na estrutura irradiada removendo precisamente o tecido desejado<sup>11,12,28</sup>.

Os lasers de Er:YAG (2,94 µm) e Er,Cr:YSGG (2,78 µm) têm sido bastante estudados devido ao interesse de suas utilizações em tecidos duros dentais. O efeito desses comprimentos de onda sobre estrutura mineralizada varia de acordo com a composição e quantidade de água presente

no substrato (esmalte, dentina, osso). Cada parâmetro de irradiação permite ação específica sobre cada tipo de substrato de maneira precisa, segura e minimamente invasiva<sup>1, 10,16,18,23</sup>.

Tanto para o esmalte quanto para a dentina, o laser promove superfícies mais rugosas quando comparadas com aquelas obtidas com o condicionamento com ácido fosfórico<sup>7,13,15</sup>. A retenção micro-mecânica dos materiais resinosos nas porosidades criadas pelo condicionamento ácido dos tecidos mineralizados é atualmente o método mais seguro de se alcançar valores satisfatórios de resistência adesiva<sup>20,21,24,25</sup>. Apesar de a irradiação com laser levar a maior rugosidade da superfície, com a presença de túbulos dentinários abertos, alguns autores sugerem que não há desmineralização e exposição das fibrilas de colágeno para penetração adequada dos monômeros resinosos<sup>4</sup>, mesmo após o condicionamento ácido da superfície irradiada<sup>29</sup>.

A morfologia da dentina desempenha um papel importante na realização dos procedimentos restauradores adesivos<sup>31</sup>. Assim, maiores estudos sobre os efeitos térmicos e mecânicos dos lasers de érbio na superfície e subsuperfície dentinária se fazem necessários para um melhor entendimento da interação desta tecnologia com os tecidos mineralizados dentais e com os sistemas adesivos, possibilitando o aproveitamento máximo de todos os benefícios que esta tecnologia tem a oferecer.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar através de Microscopia Eletrônica de Varredura o efeito de diferentes parâmetros de irradiação dos lasers de Er:YAG e Er,Cr:YSGG na morfologia da superfície dentinária.

## 2 Material e Método

Para a realização deste experimento foram utilizados 14 terceiros molares humanos com a concordância do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Foram utilizados dentes recém-extraídos que permaneceram armazenados em água destilada sob refrigeração até sua utilização<sup>14</sup>. Os dentes foram limpos com curetas periodontais e polidos com pedra pomes e água em baixa rotação.

Após a limpeza, os dentes foram fixados com cera pegajosa (Asfer, São Caetano do Sul, SP, Brasil) em placa de acrílico com a junção amelo-dentinária perpendicular à placa, para a obtenção de discos de dentina com aproximadamente 4 mm de espessura, com o auxílio de um disco diamantado de baixa concentração (11-4254, Buehler Ltd., Lake Buff, IL, EUA) acoplado a uma cortadeira de alta precisão (Isomet 1000, Buehler Ltd, Lake Buff, IL, EUA). Após o corte e remoção da raiz, um segundo corte foi realizado para expor superfície dentinária planificada de profundidade média. As superfícies dentinárias foram embutidas em resina acrílica autopolimerizável (JET, Clássico, São Paulo, SP, Brasil), desgastadas com lixa de carbetto de silício (SiC) #400 (Buehler Ltd., Lake Buff, IL, EUA) montadas em politriz (Ecomet

3 machine, Buehler Ltd., Lake Bluff, EUA) sob constante irrigação até a remoção completa de qualquer remanescente de esmalte.

Cada disco de dentina foi seccionado no sentido vestibulo-lingual obtendo-se 2 metades semelhantes, num total de 27 amostras. As superfícies oclusais de cada amostra foram polidas com lixas de SiC #600, montadas em politriz, durante 1 minuto. Em seguida, estas foram aleatoriamente divididas em 9 grupos experimentais (n=3) e as superfícies dentinárias tratadas de acordo com os grupos descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Grupos experimentais

Laser (n=3)	Er:YAG (2,94 µm)					Er,Cr:YSGG (2,78 µm)			
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Energia/ Potência	-	250 mJ	200 mJ	180 mJ	160 mJ	2.0 W	2.5 W	3.0 W	4.0 W
TX Repetição (Hz)	-	4	4	10	10	20	20	20	20
Densidade de Energia (J/cm <sup>2</sup> )	-	83	67	60	53	90	113	136	181

No grupo controle (G1), as superfícies oclusais foram padronizadas através da planificação com lixas de SiC #600, montadas em politriz, sob constante irrigação durante 30 segundos. Nos grupos experimentais (G2-G9), as superfícies foram irradiadas com os lasers Er:YAG e Er,Cr:YSGG como descrito abaixo.

Para o preparo da superfície dentinária dos grupos G2 – Er:YAG 250 mJ/4 Hz; G3 – Er:YAG 200 mJ/4 Hz; G4 – Er:YAG 180 mJ/10 Hz e G5 – Er:YAG 160 mJ/10 Hz; foi utilizado o laser de Er:YAG Kavo Key Laser 2 (KAVO Dental, Biberach, Alemanha) com comprimento de onda de 2,94 µm. A peça de mão utilizada foi a #2065 posicionada perpendicularmente à superfície da dentina a distância de 12 mm da superfície da amostra no modo focado. A irradiação foi realizada sob constante refrigeração com água (5 mL/min), no modo de varredura, percorrendo toda a superfície da amostra.

Para o preparo da superfície dentinária dos grupos G6 - Er,Cr:YSGG 2W/20 Hz; G7 - Er,Cr:YSGG 2.5W/20 Hz; G8 - Er,Cr:YSGG 3W/20 Hz e G9 - Er,Cr:YSGG 4W/20 Hz, foi utilizado o laser de Er,Cr:YSGG (Waterlase Millennium, Biolase, San Clemente, CA, EUA) com comprimento de onda de 2,78 µm e taxa de repetição fixa de 20 Hz. A ponta de safira G4 (diâmetro de 378 µm) foi posicionada perpendicularmente à superfície da dentina, a distância de 1 mm da superfície da amostra no modo focado. A irradiação foi realizada no modo de varredura, sob constante refrigeração com ar (65%) e água (55%).

Após armazenamento em ambiente úmido a 37°C por 24 horas, as amostras foram lavadas com água e fixadas em glutaraldeído por 24 horas, desidratadas em concentrações crescentes de álcool 30 a 100% e cobertas com ouro.

Eletromicrografias com magnificação da ordem de 4.000X foram obtidas das regiões mais representativas das amostras.

### 3 Resultados

Os parâmetros de irradiação utilizados neste trabalho resultaram em padrões morfológicos dentinários semelhantes para os 2 tipos de lasers. As figuras 1 e 2 mostram os padrões das superfícies obtidos após os tratamentos propostos para cada um dos grupos experimentais (G1-G9).

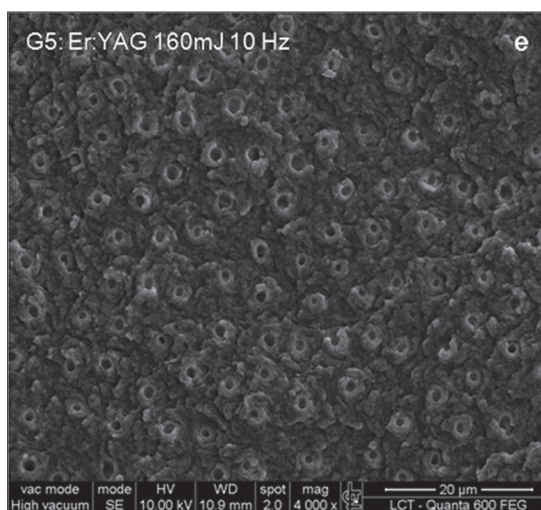
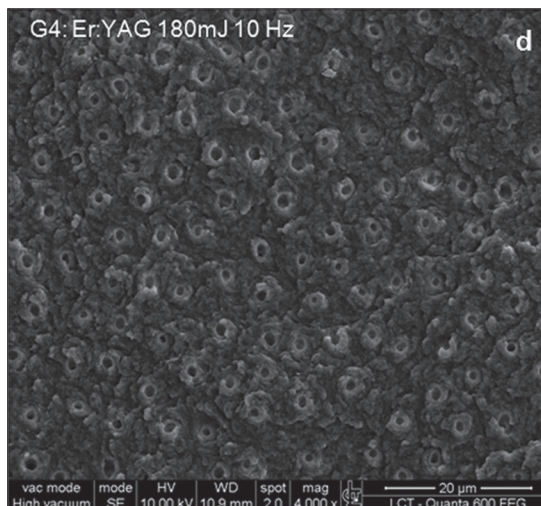
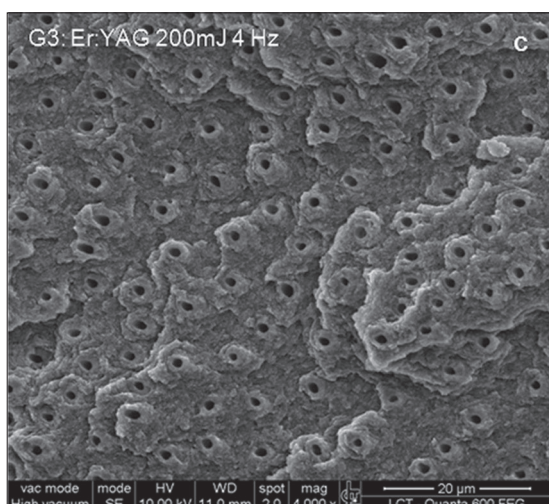
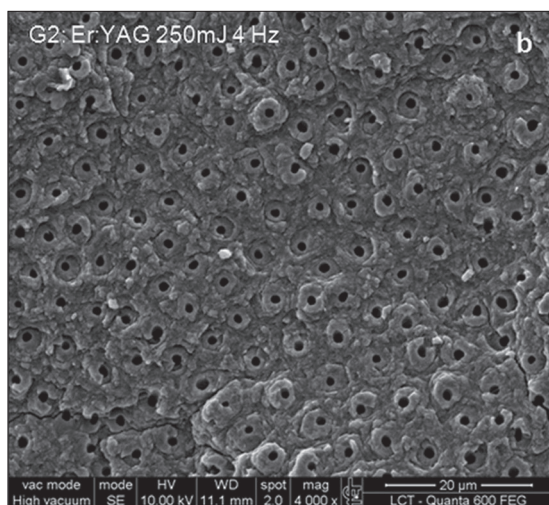
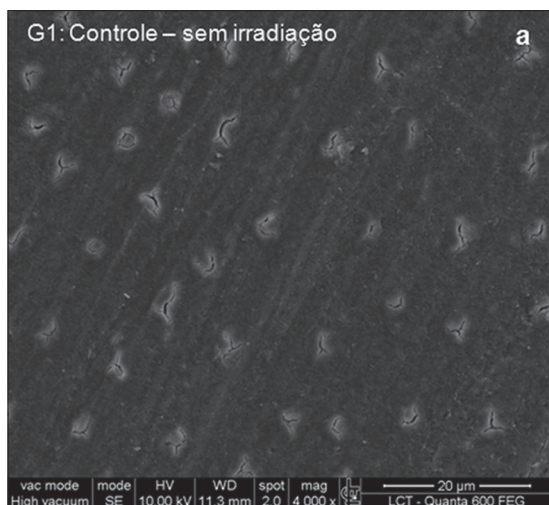
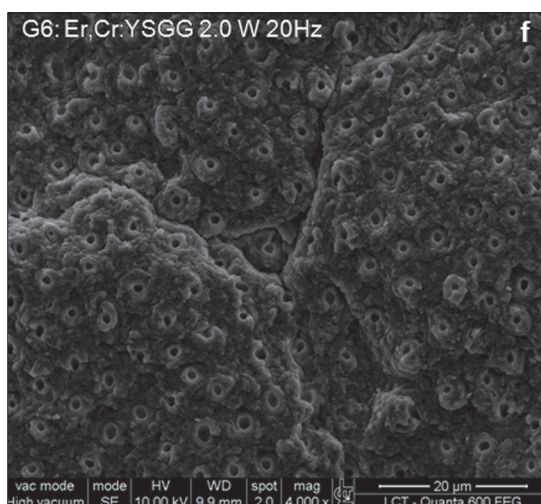


Figura 1 - Fotomicrografias obtidas em MEV: Características morfológicas das superfícies dentinárias não irradiadas (G1 – controle) e preparadas com diferentes parâmetros de irradiação do laser de Er:YAG (G2-G5) – aumento de 4.000X

O grupo 1 (controle) apresentou superfície uniforme, completamente coberta por uma camada de *smear layer*, obliterando a entrada dos túbulos dentinários (figura 1a).



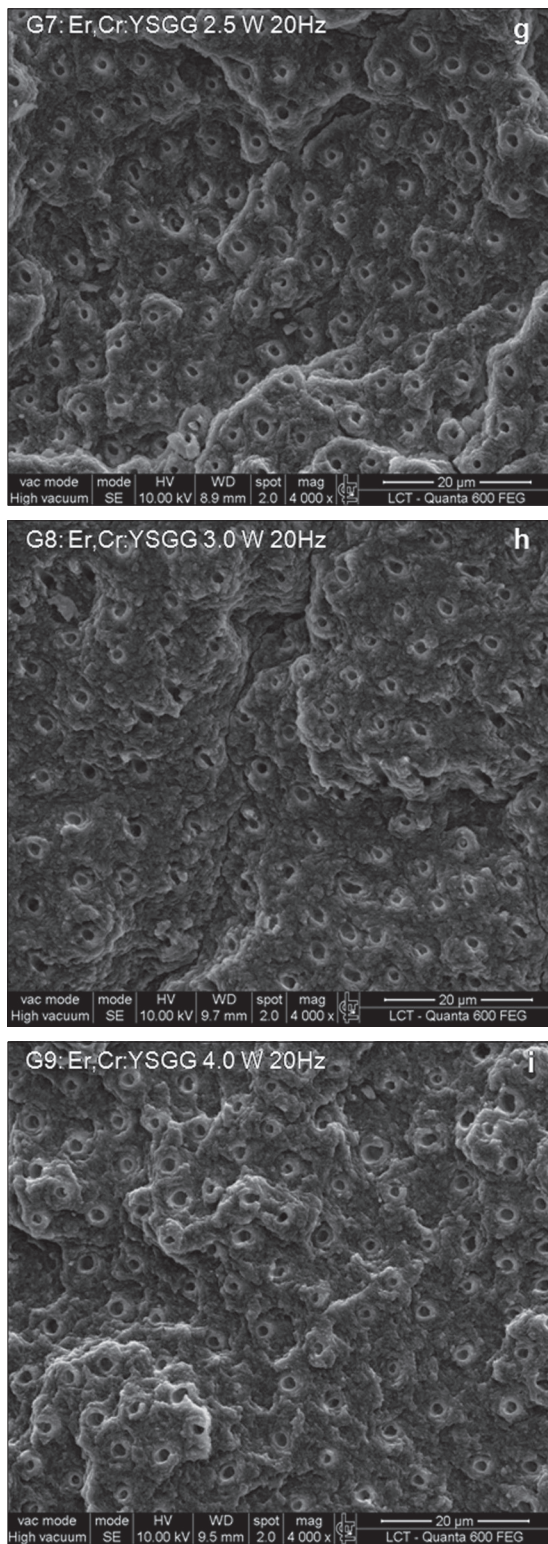


Figura 2 -Fotomicrografias obtidas em MEV: Características morfológicas das superfícies dentinárias preparadas com diferentes parâmetros de irradiação do laser de Er,Cr:YSGG (G6-G9) – aumento de 4.000X

Nos demais grupos (G2-G9), submetidos ao tratamento com laser, as superfícies apresentaram aspectos morfológicos semelhantes, com túbulos dentinários abertos e dentina peritubular levemente protruída, independente do laser utilizado (figuras 1b-1e, 2f-2i).

Todas as superfícies irradiadas apresentaram-se bastante rugosas e irregulares com aparência escamosa e sem nenhuma *smear layer*. As superfícies irradiadas com o laser de Er,Cr:YSGG (figuras 2f-2i) se apresentaram levemente mais escamosas que aquelas irradiadas com o laser de Er:YAG (figuras 1b-1e).

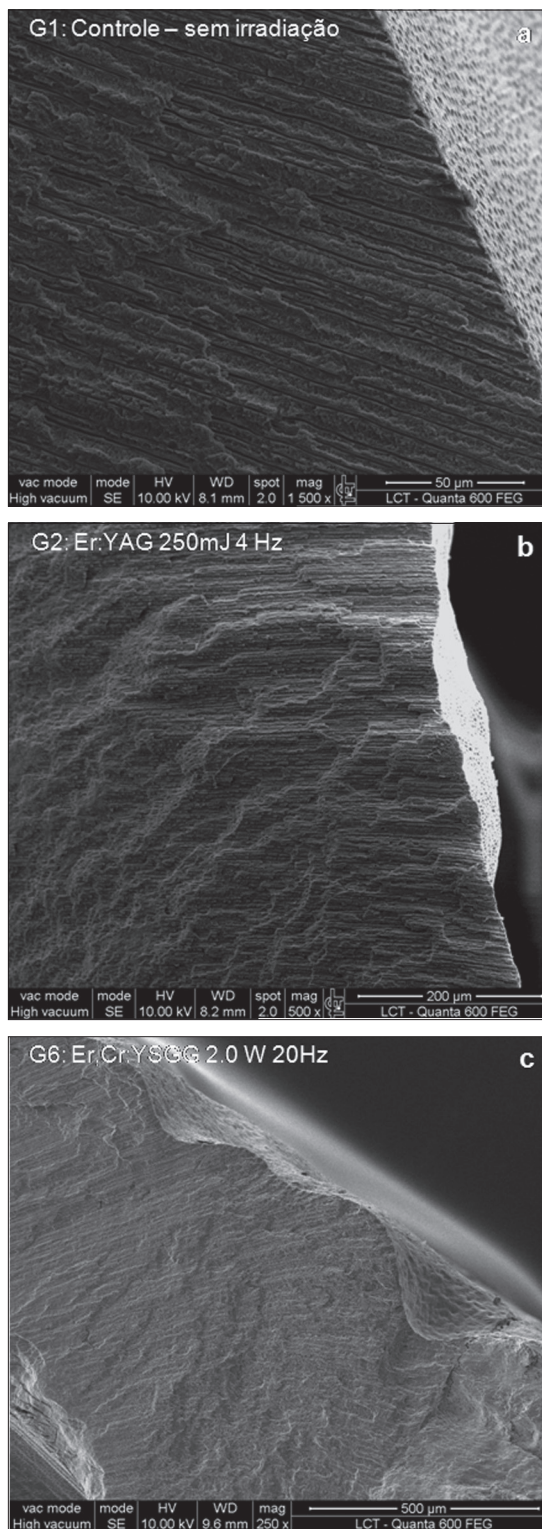


Figura 3 - Fotomicrografias obtidas em MEV: Secções transversais das amostras de dentina, que ilustram o padrão topográfico dos diferentes tratamentos. (a) Controle (1.500X); (b) Laser de Er:YAG (500X); (c) Laser de Er,Cr:YSGG (250X)

A figura 3 revelou a topografia irregular da superfície dentinária irradiada, na qual podemos observar um padrão mais irregular para os grupos tratados com o laser de Er,Cr:YSGG.

#### 4 Discussão

A evolução dos materiais restauradores adesivos e o desenvolvimento de técnicas e equipamentos visando à máxima preservação dos tecidos dentais têm contribuído de maneira significativa para prática da Odontologia Minimamente Invasiva (OMI)<sup>26</sup>. Devido à alta afinidade dos lasers de érbio pela água é possível conseguir remoção seletiva do tecido cariado, devido à maior quantidade de água presente neste tipo de substrato, preservando a estrutura dental sadia.

No presente estudo, as micrografias obtidas em MEV das superfícies dentinárias irradiadas com laser de érbio mostraram que a interação do laser de alta potência com a dentina resulta em padrão morfológico específico com os túbulos dentinários abertos e ausência de *smear layer*, removida durante o processo de ablação, corroborando com os resultados de estudos morfológicos anteriores<sup>2,7,15,27</sup>.

De acordo com a física do processo de ablação, promovido pela irradiação, o laser vaporiza a água e estruturas orgânicas presentes no interior do tecido, promovendo aumento súbito de pressão na subsuperfície, ejetando o material inorgânico sob a forma de microfragmentos<sup>10,18</sup>.

A análise das superfícies irradiadas revelou a presença de dentina peritubular protruída indicando maior remoção da dentina intertubular que ocorreu provavelmente, devido ao fato desta última possuir maior quantidade de água em seu interior<sup>3,5-7,23,30</sup>.

A superfície irradiada apresentou-se escamosa e irregular, com maior remoção do tecido dental na região central da irradiação, correspondendo à região de maior concentração de energia do pulso emitido pelo laser. O ângulo de incidência do feixe está diretamente relacionado com a densidade de energia que chega até o tecido irradiado<sup>3</sup>. Um ângulo de incidência de 90° implica em maior densidade de energia recebida pelo tecido e, conseqüentemente, em maior potencial de ablação.

Todos os grupos que receberam o tratamento com laser apresentaram padrão morfológico bastante semelhante; entretanto, os grupos irradiados com o laser de Er,Cr:YSGG, que possuíam as maiores densidades de energia por pulso e taxa de repetição fixa maior do que a estabelecida para o laser de Er:YAG, apresentaram superfície discretamente mais escamosa. Tal fato pode estar relacionado com os comprimentos de onda de cada laser, que apesar de muito parecidos, diferem discretamente. O laser de Er,Cr:YSGG (2,78 µm) tem maior afinidade pelo grupo hidroxila presente na hidroxiapatita do que o laser de Er:YAG (2,94 µm), que tem seu comprimento de onda mais próximo do pico de absorção da água, o que pode influenciar na pequena diferença de interação destes lasers com a dentina.

Dentro das limitações deste estudo *in vitro* podemos concluir que os diferentes parâmetros dos lasers de érbio alteram a morfologia da dentina irradiada promovendo padrão morfológico específico e topografia diferenciada da superfície. Assim, mais estudos devem ser realizados para melhor entendimento das alterações promovidas pela irradiação com laser no conteúdo orgânico e inorgânico da dentina; bem como os efeitos deste padrão na interação com os sistemas adesivos dentinários comercializados atualmente.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelos recursos concedidos no Auxílio à Pesquisa número: 97/10823-0, pela compra do laser de Er:YAG Kavvo Key Laser 2. Bem como o projeto CEPID/CEPOF FAPESP número: 98/14270-8, pela compra do laser de Er,Cr:YSGG Waterlase Millennium; ambos pertencentes ao Laboratório Especial de Laser em Odontologia da FOUSSP.

#### Referências

1. Bader C, Krejci I. Indications and limitations of Er:YAG laser applications in dentistry. *Am J Dent*. 2006 Jun;19(3):178-86.
2. Cardoso MV, Coutinho E, Ermis RB, Poitevin A, Van Landuyt K, De Munck J, *et al*. Influence of Er,Cr:YSGG laser treatment on the microtensile bond strength of adhesives to dentin. *J Adhes Dent*. 2008 Feb;10(1):25-33.
3. Carvalho RCR, Freitas PM, Otsuki M, Eduardo C de P, Tagami J. Influence of Er:YAG laser beam angle, working distance, and energy density on dentin morphology: An SEM investigation. *J Oral Laser Appl*. 2005;5(4):237-43.
4. Ceballos L, Toledano M, Osorio R, Tay FR, Marshall GW. Bonding to Er-YAG-laser-treated dentin. *J Dent Res*. 2002 81:119-22.
5. Delme KI, De Moor RJ. Scanning electron microscopic evaluation of enamel and dentin surfaces after Er:YAG laser preparation and laser conditioning. *Photomed Laser Surg*. 2007 Oct;25(5):393-401.
6. Ekworapoj P, Sidhu SK, McCabe JF. Effect of different power parameters of Er,Cr:YSGG laser on human dentine. *Lasers Med Sci*. 2007 Sep;22(3):175-82.
7. Freitas PM, Navarro RS, Barros JA, de Paula Eduardo C. The use of Er:YAG laser for cavity preparation: an SEM evaluation. *Microsc Res Tech*. 2007 Sep;70(9):803-8.
8. Goldman L, Gray JA, Goldman J, Goldman B, Meyer R. Effect of laser beam impacts on teeth. *J Am Dent Assoc*. 1965 Mar;70:601-6.
9. Harashima T, Kinoshita J, Kimura Y, Brugnera A, Zanin F, Pecora JD, *et al*. Morphological comparative study on ablation of dental hard tissues at cavity preparation by Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers. *Photomed Laser Surg*. 2005 Feb;23(1):52-5.
10. Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med*. 1989;9(4):338-44.
11. Hibst R. Mechanical effects of erbium:YAG laser bone

- ablation. *Lasers Surg Med.* 1992;12(2):125-30.
12. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Kimura Y, Matsumoto N, Matsumoto K. Effects of Er,Cr:YSGG laser irradiation in human enamel and dentin: ablation and morphological studies. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(4):155-9.
  13. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Suzuki N, Murakami Y, Matsumoto K. Analysis of surface roughness of enamel and dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg.* 2001 Dec;19(6):297-303.
  14. Humel MMC, Oliveira MT, Cavalli V, Giannini M. Effect of storage and disinfection methods of extracted bovine teeth on bond strength to dentin. *Braz J oral Sci.* 2007;6(22):1402-6.
  15. Iaria G. Clinical, morphological, and ultrastructural aspects with the use of Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers in restorative dentistry. *Gen Dent.* 2008 Nov-Dez;56(7):636-9.
  16. Keller U, Hibst R. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: II. Light microscopic and SEM investigations. *Lasers Surg Med.* 1989;9(4):345-51.
  17. Kinoshita J, Kimura Y, Matsumoto K. Comparative study of carious dentin removal by Er,Cr:YSGG laser and Carisolv. *J Clin Laser Med Surg.* 2003 Oct;21(5):307-15.
  18. Li ZZ, Code JE, Van De Merwe WP. Er:YAG laser ablation of enamel and dentin of human teeth: determination of ablation rates at various fluences and pulse repetition rates. *Lasers Surg Med.* 1992;12(6):625-30.
  19. Matsumoto K, Hossain M, Hossain MM, Kawano H, Kimura Y. Clinical assessment of Er,Cr:YSGG laser application for cavity preparation. *J Clin Laser Med Surg.* 2002 Feb;20(1):17-21.
  20. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res.* 1982 May;16(3):265-73.
  21. Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid layer as a dentin-bonding mechanism. *J Esthet Dent.* 1991 Jul-Aug;3(4):133-8.
  22. Navarro RS, Gouw-Soares S, Cassoni A, Haypek P, Zzell DM, DePaula Eduardo CP. The influence of erbium:yttrium-aluminum-garnet laser ablation with variable pulse width on morphology and microleakage of composite restorations. *Lasers Med Sci.* 2009 Oct 4 [Epub ahead of print].
  23. Oliveira Ortolan AS, Torres CP, Gomes-Silva JM, de Menezes-Oliveira MA, Pécora JD, Palma-Dibb RG, Borsatto MC. Effect of erbium-doped yttrium aluminium garnet laser parameters on ablation capacity and morphology of primary dentin. *Photomed Laser Surg.* 2009 Dec;27(6):885-90.
  24. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA. Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int.* 1993 Sep;24(9):618-31.
  25. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent.* 1997 Sep;25(5):355-72.
  26. Peters MC, McLean ME. Minimally invasive operative care. II. Contemporary techniques and materials: an overview. *J Adhes Dent.* 2001 Spring;3(1):17-31.
  27. Raucci-Neto W, Chinelatti MA, Palma-Dibb RG. Ablation rate and morphology of superficial and deep dentin irradiated with different Er:YAG laser energy levels. *Photomed Laser Surg.* 2008 Dez;26(6):523-9.
  28. RizoIU I, Kohanghadosh F, Kimmel AI, Eversole LR. Pulpal thermal responses to an erbium,chromium: YSGG pulsed laser hydrokinetic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998 Aug;86(2):220-3.
  29. Schein MT, Bocangel JS, Nogueira GE, Schein PA. SEM evaluation of the interaction pattern between dentin and resin after cavity preparation using ER:YAG laser. *J Dent.* 2003 Feb;31(2):127-35.
  30. Trajtenberg CP, Pereira PN, Powers JM. Resin bond strength and micromorphology of human teeth prepared with an Erbium:YAG laser. *Am J Dent.* 2004 Oct;17(5):331-6.
  31. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res.* 1992 Aug;71(8):1530-40.