

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE UMA CERÂMICA ODONTOLÓGICA COM A DENTINA HUMANA¹

Manoelita Figueiredo de Magalhães²
Ricardo Alberto Neto Ferreira³
Roberto Márcio de Andrade⁴

Resumo

Objetivo: realizar medições de propriedades termofísicas (difusividade térmica, condutividade térmica, calor específico e massa específica) de uma cerâmica odontológica e compará-la com os valores medidos para a dentina humana. Metodologia: a difusividade térmica foi medida através do método do Flash de Laser; a massa específica através do método de penetração e imersão com xylol, e o calor específico foi medido através da calorimetria diferencial exploratória (DSC - *Differential Scanning Callorimetry*). Todos os procedimentos de medição foram realizados no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Com estes dados, calculou-se a condutividade térmica através do produto da massa específica, pela difusividade térmica e pelo calor específico. Resultados: os valores das propriedades termofísicas de cinco amostras de dentina humana foram comparados com os resultados obtidos para a cerâmica odontológica. Os resultados encontrados indicaram compatibilidade térmica entre a dentina e a cerâmica, que apresentou o mesmo comportamento térmico de condução de calor que a dentina humana, propiciando adequação do uso deste material em restauração odontológica.

Palavras-chave: Cerâmica; Dentina; Propriedades termofísicas.

COMPARISON OF RESULTS OF MEASUREMENT OF THE THERMOFISICAL PROPERTIES OF A DENTAL CERAMIC WITH HUMAN DENTIN

Abstract

Aim: To measure the thermophysical properties (thermal diffusivity, thermal conductivity, specific heat and density) of dental ceramic and compare them to the thermophysical properties of human dentin. Methodology: Thermal diffusivity was measured using flash laser; density was measured using penetration and immersion with xylol; and specific heat was obtained via Differential Scanning Callorimetry. With the data obtained, thermal conductivity was calculated by multiplying density, thermal diffusivity and specific heat. All measurements were carried out at CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (Center for the Development of Nuclear Technology). Results: The thermal properties of five samples of human dentin were compared with the properties of dental ceramic. The results show that the two are thermically compatible, indicating that dental ceramic is appropriate for use in the process of odontological restoration.

Key words: Ceramic; Dentin; Thermophysical properties.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Odontóloga pela UFMG e Doutoranda em Engenharia Mecânica, área de Bioengenharia, pela EE-UFMG*

³ *Doutor em Engenharia Química pela UNICAMP, Brasil, Pesquisador do CDTN/CNEN*

⁴ *Doutor em Engenharia Mecânica pela UNIVPM, Itália, Professor do DEMEC da EE-UFMG*

1 INTRODUÇÃO

Existe um interesse muito grande na Odontologia em devolver um sorriso o mais natural possível ao paciente quando o mesmo necessita de recuperação na estética dental. Inúmeros estudos são realizados procurando o material ideal que melhor se aproxime do dente natural.

As atuais técnicas de procedimentos adesivos, empregados na fixação das novas restaurações de cerâmicas, possibilitam a confecção de restaurados totalmente livres de metal, dando uma satisfação estética muito grande ao paciente, que se sente como tendo de volta os seus dentes naturais, recuperando a auto-estima pela alegria de poder ter um belo sorriso novamente.

Vários fabricantes desenvolvem tecnologias e buscam novos conhecimentos para encontrar um material que melhor reproduza a estética e a funcionalidade do dente natural. Em 2004, a Ivoclar Vivadent lançou uma nova cerâmica odontológica denominada IPS Empress Esthetic, que é uma melhoria do sistema IPS Empress.⁽¹⁾

As pastilhas IPS Empress Esthetic são de cerâmica de vidro de leucita do sistema $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Os cristais de leucita estão distribuídos de forma homogênea, compacta e com menor granulação do que no sistema IPS Empress, o que, conseqüentemente, propicia melhores propriedades mecânicas, químicas e estéticas.⁽²⁾

O comportamento térmico do IPS Empress foi estudado pelo fabricante. A estabilidade térmica é considerada boa quando não são encontradas fraturas visíveis a uma temperatura acima de 120°C. De acordo com as informações contidas no perfil técnico deste material, os resultados encontrados mostraram boa estabilidade ao choque térmico.⁽²⁾

Revedo a literatura sobre os valores das propriedades termofísicas da dentina humana, constatou-se uma grande dispersão de resultados e verificou-se que existem poucos trabalhos recentes sobre este assunto, gerando a necessidade da realização de medições das propriedades termofísicas da dentina para compará-las com as da porcelana estudada. Os valores obtidos para a dentina humana poderão ser aplicados em outros estudos de distribuição de calor ou procedimentos odontológicos que levam ao aquecimento do dente.

Panas et al.⁽³⁾ salientaram sobre a necessidade de estudos futuros fornecerem valores mais precisos para a difusividade térmica dos tecidos duros do dente. Além disso, discutiram também a discrepância entre os resultados medidos por eles e os dados da literatura.

César Jr.⁽⁴⁾ realizou um estudo mostrando passo a passo uma seqüência clínica de restauração dos dentes anteriores por meio de facetas laminadas de cerâmicas reforçadas por leucita, empregando a cerâmica IPS Empress Esthetic (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein). O autor relatou que o nível de qualidade obtido nos trabalhos com restaurações cerâmicas, quando realizados com adequado planejamento e indicação correta, faz desse procedimento uma alternativa estética confiável e com bons resultados.

Poss e Foster⁽⁵⁾ utilizaram o Empress Esthetic no tratamento da síndrome dos dentes escuros, sugerindo o material para os casos de escurecimento de dentes pelo uso de tetraciclina, tratamentos endodônticos ou trauma. Relataram, também, que é possível solucionar diferentes graus de descoloração dental com a utilização desta cerâmica.

O objetivo do presente estudo foi realizar as medições das propriedades termofísicas da porcelana Empress Esthetic e comparar a compatibilidade térmica com a dentina humana.

2 METODOLOGIA

O presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG pelo parecer nº 454/05.

2.1 Preparo das Amostras de Dentina

Foram selecionados 24 terceiros molares hígidos extraídos de pacientes de ambos os gêneros entre 18 e 26 anos, cedidos pelo Instituto de Previdência dos Servidores do Estado de Minas Gerais.

Estes dentes foram lavados e mantidos em soro fisiológico até a realização do experimento. Em seguida foram embutidos em resina para serem retiradas fatias de aproximadamente 2mm de espessura e 8mm de diâmetro. A seguir foram feitos dois tipos de cortes para retirar as fatias de dentina entre a camada de esmalte e a polpa: um vertical, no sentido axial do dente, e o outro horizontal perpendicularmente ao longo eixo do dente. Isto, para verificar se direções diferentes dos túbulos dentinários, em relação ao fluxo de calor, influenciaria nos resultados das medições de difusividade térmica.

2.2 Preparo das Amostras de Empress Esthetic

Para a obtenção das amostras de Empress Esthetic, foi usinado um gabarito em metal na forma de um disco com 2 mm de espessura e 8 mm de diâmetro que depois foi incluído em silicone de adição para a confecção de uma matriz para se fazer o padrão de cera. Este padrão de cera foi colocado em um anel e incluído em revestimento Empress, especial para alta fusão, aguardando-se o tempo de presa recomendado pelo fabricante. A seguir foi feita a eliminação da cera em um forno Ney Vulcan. Este anel foi levado a um outro forno EP600 COMBI onde uma pastilha de Empress Esthetic na cor A2 foi derretida e injetada no molde. O processo é realizado durante 25 minutos a uma temperatura de 1075°C, deixando-se a amostra atingir a temperatura ambiente sobre uma fonte dissipadora. A amostra de Empress foi desincluída com jato de óxido de alumínio com granulação de 60 micrometros a uma pressão inicialmente de 3 bar, reduzida posteriormente para 2 bar, com cuidado para não danificá-la. Depois, cortou-se o canal de alimentação com ponta diamantada. Não foi dado acabamento em nenhuma das amostras para não interferir nos resultados.

2.3 Difusividade Térmica

A difusividade térmica das amostras foi medida utilizando-se o método do flash de laser,⁽⁶⁾ implementado no CDTN por Ferreira et al.⁽⁷⁾

O sistema é composto, basicamente, por um laser de CO₂ para aquecimento da face frontal da amostra, um forno tubular para aquecimento da amostra até a temperatura em que se deseja realizar a medição, e um sistema de aquisição de dados que consiste de um microcomputador para obtenção do registro da elevação de temperatura na face oposta da amostra (Figura 1). A amostra é fixada em um

porta-amostra por meio de apenas três parafusos com pontas cônicas de modo a minimizar perdas de calor por condução. As medições foram realizadas em cinco amostras cilíndricas de dentina e duas de Empress Esthetic (Ivoclar) com 8 mm de diâmetro, correspondendo exatamente ao diâmetro do feixe de laser.

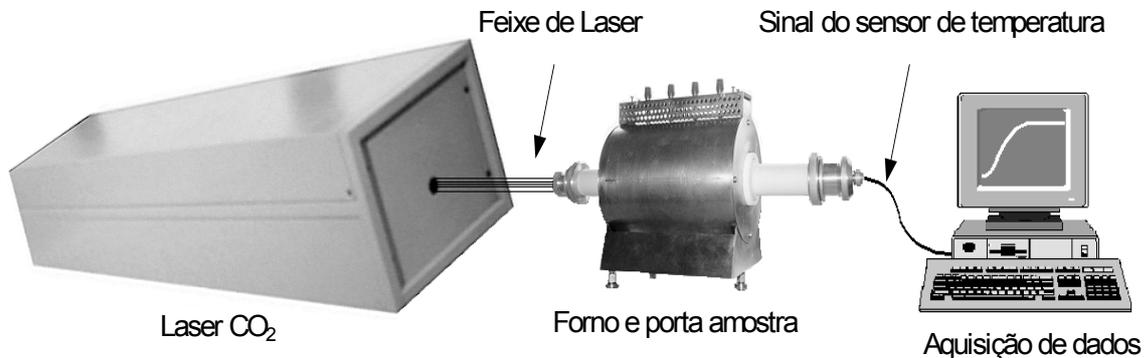


Figura 1 - Bancada de medição do Laboratório de Medições de Propriedades Termofísicas do CDTN

2.4 Massa específica e porosidade aberta

Para se medir a massa específica (também chamada densidade) e a porosidade aberta das amostras de dentina empregou-se o Método de Penetração e Imersão com Xylol da Kraftwerk Union,⁽⁸⁾ absorvido e transferido para o CDTN por Ferreira.⁽⁹⁾ As amostras são inicialmente secas em estufa a 60°C por duas horas. Após a secagem as suas massas são determinadas em balança analítica. A seguir, as amostras são colocadas em um recipiente no interior de um dessecador onde é estabelecido vácuo de pelo menos 10^{-1} torr por duas horas para retirar o ar de dentro da porosidade aberta.

Decorrido este tempo, o recipiente é inundado com Xylol contido em um gotejador acoplado ao dessecador. O recipiente com as amostras é retirado do dessecador e aguarda-se uma hora para equalização da temperatura do Xylol com a ambiente e para que o Xylol penetre completamente na porosidade aberta.

A medição da amostra na bandeja superior da balança mostrada na Figura 2 fornece então pela diferença entre esta massa da amostra impregnada e a sua massa já medida, após a secagem, a massa do xylol contido na porosidade aberta (Figura 3).

Conhecendo-se a massa específica do Xylol, calcula-se então o volume de Xylol correspondente a esta massa, que é igual ao volume da porosidade aberta da amostra.



Figura 2 - Bandeja dupla utilizada para a medição da massa específica e porosidade aberta das amostras

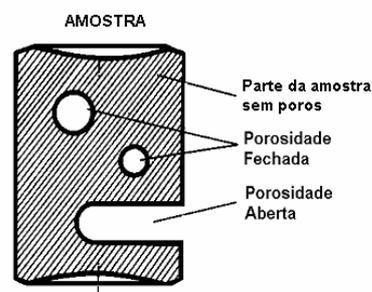


Figura 3 - Desenho esquemático de porosidade aberta e fechada de uma amostra

Após esta medição, a amostra é colocada na bandeja inferior imersa no Xylol, obtendo-se assim, pela diferença entre a massa da amostra seca e a massa sob empuxo, a massa do volume de Xylol deslocado, volume este igual ao volume de material sem poros mais o volume da porosidade fechada. Obtém-se, então, o volume da amostra, que é a soma dos três volumes: volume do material sem poros, mais o volume da porosidade fechada, mais o volume da porosidade aberta. A massa específica é então obtida dividindo-se a massa da amostra pelo seu volume.

2.5 Calor Específico

A medição do calor específico foi realizada por meio da calorimetria diferencial exploratória (DSC – *differential scanning calorimetry*) utilizando-se o calorímetro modelo DSC Q10 da TA Instruments.

O calorímetro possui dois aquecedores. Em um deles é colocado um cadinho contendo um fragmento da amostra, enquanto sobre o outro aquecedor é colocado um cadinho idêntico, mas vazio para servir de referência. O controle do sistema é programado para aquecer ambos os aquecedores a uma mesma taxa constante (usualmente 10°C/minuto), e assegura que ambas os aquecedores aqueçam os cadinhos exatamente à mesma taxa ao longo de todo o experimento. Para que isto ocorra, o aquecedor sob a amostra terá que fornecer mais calor que o outro sob o cadinho de referência vazio, devido à absorção extra de calor pela amostra. O sistema calcula então a diferença do fluxo de calor fornecido por ambos os aquecedores. Esta diferença é justamente o fluxo de calor absorvido pela amostra a medida que ela aquece. Dividindo-se esta diferença pela taxa de aquecimento utilizada, obtém-se a capacidade térmica da amostra. Dividindo-se a capacidade térmica pela massa da amostra, obtém-se o seu calor específico C_p .

Para realização das medições foram utilizados pequenos fragmentos com massa de cerca de 10 mg retirados das amostras de dentina.

2.6 Condutividade Térmica

A condutividade térmica de cada amostra foi calculada por meio da seguinte equação:

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot c_p \quad (1)$$

onde:

k - condutividade térmica;

α - difusividade térmica;

ρ - massa específica e

c_p - calor específico.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram confrontados com os de outros autores para verificar a conformidade ou não dos resultados devido a divergências de valores das propriedades termofísicas reportados na literatura, resultando na Tabela 1.

Tabela 1 - Quadro comparativo entre os resultados de diferentes autores para as propriedades termofísicas de dentina humana.

Autores	Difusividade térmica [$\times 10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$]	Massa específica [kgm^{-3}]	Calor específico $\text{JKg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Condutividade térmica $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$
Presente estudo - amostra 1 (//)	0,204	2160	1089,9	0,480
Presente estudo - amostra 2 (\perp)	0,199	2090	872,5	0,363
Presente estudo - amostra 3 (//)	0,256	2260	1149,7	0,666
Presente estudo - amostra 4 (//)	0,224	2330	1181,0	0,617
Presente estudo - amostra 5 (//)	0,265	2400	1038,7	0,660
Manly, Hodge e Ange ⁽¹⁰⁾		2140		
Lisanti e Zander ⁽¹¹⁾				0,959
Simeral ⁽¹²⁾				0,984
Peyton e Simeral ⁽¹³⁾			1172	
Phillips, Johnson e Phillips ⁽¹⁴⁾				0,108
Soyenkoff e Okun ⁽¹⁵⁾ (Raiz //)				0,402
Soyenkoff e Okun ⁽¹⁵⁾ (Coroa //)				0,448
Craig e Peyton ⁽¹⁶⁾ (\perp)				0,582
Craig e Peyton ⁽¹⁶⁾ (//)				0,569
Braden ⁽¹⁷⁾	0,260			
Brown, Dewey e Jacobs ⁽¹⁸⁾ (\perp)	0,187	1960	1591	
Brown, Dewey e Jacobs ⁽¹⁸⁾ (//)	0,183			
Borovsky et al. ⁽¹⁹⁾	0,220	2180	1450	0,710
Andreu et al. ⁽²⁰⁾		2046,6	1420 (16°C)	
Andreu et al. ⁽²⁰⁾			2720 (52°C)	
Panas 2003 (Composição) ⁽³⁾	0,192			
Panas (Fatia) ⁽³⁾	0,216			
Cornacchia ⁽²¹⁾				0,340

Os valores de difusividade térmica de cinco amostras de dentina humana, medidas através do método do flash de laser, variaram entre $0,199 \times 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ a $0,265 \times 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$. Dentro, ou praticamente dentro desta faixa, se situaram os valores calculados por Braden⁽¹⁷⁾ e Brown, Dewey e Jacobs,⁽¹⁸⁾ usando outras metodologias, e os valores medidos por Borovsky et al.⁽¹⁹⁾ e Panas⁽³⁾ usando, ambos, o método do flash de laser.

Os valores obtidos de massa específica também variaram, de 2090Kgm^{-3} a 2400Kgm^{-3} , faixa esta dentro da qual se situam os valores obtidos por Manly, Hodge e Ange⁽¹⁰⁾ e por Borovsky et al.⁽¹⁹⁾ Os valores obtidos por Brown, Dewey e Jacobs⁽¹⁸⁾ e Andreu et al.⁽²⁰⁾ situaram-se ligeiramente abaixo.

Os valores obtidos de calor específico variaram de $872,5 \text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ a $1181,0 \text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$. Dentro desta faixa se situou o valor obtido por Peyton e Simeral.⁽¹³⁾ Os valores obtidos por Brown, Dewey e Jacobs,⁽¹⁸⁾ Borovsky et al.⁽¹⁹⁾ e Andreu et al.,⁽²⁰⁾ situaram-se acima desta faixa.

Consequentemente, os valores calculados de condutividade térmica de dentina humana variaram de $0,363 \text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ a $0,666 \text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$. Dentro desta faixa

situaram-se os valores medidos por Soyenkoff e Okun,⁽¹⁵⁾ Craig e Peyton⁽¹⁶⁾ e Cornacchia⁽²¹⁾.

O valor calculado por Borovsky et al.⁽¹⁹⁾ situou-se levemente acima desta faixa ($0,710 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Os valores medidos por Lisanti e Zander⁽¹¹⁾ e Simeral⁽¹²⁾ estão bastante acima desta faixa ($0,959 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $0,984 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ respectivamente) e o valor encontrado por Phillips, Johnson e Phillips,⁽¹³⁾ bem abaixo ($0,108 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Estas diferenças podem ser atribuídas às dificuldades daquela época com instrumentação que poderiam ter levado estes autores a obterem valores fora da faixa dos demais.

Parece não haver influência da direção dos túbulos dentinários nos resultados dos valores de medição da difusividade e condutividade térmica da dentina humana confirmando outros autores da literatura.

A Tabela 2 apresenta os resultados das medições realizadas nas duas amostras de cerâmica, e mostra que esta cerâmica não apresenta porosidade aberta.

Comparando-se os valores das propriedades da cerâmica estudada com os valores da dentina, observou-se que os valores de condutividade térmica da cerâmica situaram-se dentro da faixa de valores da dentina. A difusividade térmica da cerâmica é cerca do dobro da difusividade térmica da dentina. Já o seu calor específico é cerca da metade do calor específico da dentina, enquanto a massa específica é praticamente a mesma. Desta forma, esta cerâmica apresenta o mesmo comportamento térmico de condução de calor que a dentina humana.

Tabela 2 – Resultado das medições das propriedades termofísicas para o IPS Empress Esthetic

Amostra	Difusividade térmica	Massa específica	Calor específico	Condutividade térmica	Porosidade aberta
	$\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$	kg/m^3	$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	(%V)
Empress 1	0,5270	2448	412,4	0,532	0,000
Empress 2	0,5275	2450	429,3	0,555	0,000

4 DISCUSSÃO

Analisando os poucos trabalhos já realizados sobre propriedades termofísicas de dentina humana, percebeu-se que a metodologia, em alguns trabalhos, foi parcialmente descrita e executada de formas diversas. Observou-se uma grande discrepância entre os resultados de condutividade térmica encontrados (diferenças de até cerca de dez vezes, ou seja, uma ordem de grandeza), a qual pode ser atribuída também à limitação da instrumentação utilizada nos trabalhos mais antigos. O valor de $0,108 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ para a condutividade térmica de dentina humana encontrado por Phillips, Johnson e Phillips⁽¹⁴⁾ é cerca de 10 vezes menor que os valores de $0,984 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $0,959 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ encontrados por Lisanti e Zander⁽¹¹⁾ e Simeral,⁽¹²⁾ respectivamente. Estas diferenças são grandes bastantes para chamar a atenção dos pesquisadores que calculam a distribuição de temperatura no dente.

Panas et al.⁽³⁾ enfatizaram a importância do conhecimento das propriedades termofísicas para precisar a modelagem e a análise do fenômeno de transferência de calor e salientaram que os limites para possíveis erros neste domínio são muito estreitos. Explicaram que isto é devido aos baixos valores de temperatura de hipotermia, uma vez que temperaturas excedendo $42,5^\circ\text{C}$ ($37 + 5,5 = 42,5$) danificam a polpa dentária. Segundo estes autores os valores de difusividade

térmica medidos por eles, apesar de apresentarem discrepâncias, estão dentro dos limites extremos dos dados da literatura. Afirmaram, ainda, que estudos futuros podem fornecer valores mais precisos para a difusividade térmica, o que justifica a necessidade do presente estudo, o qual também contribui com o fornecimento de dados para a avaliação da distribuição de temperatura em procedimentos odontológicos que levam ao aquecimento do dente.

Como os valores de condutividade térmica da cerâmica, situaram-se dentro da faixa de variação da condutividade térmica da dentina, pode-se considerar que esta cerâmica é um material compatível em termos de variações térmicas.

5 CONCLUSÕES

- Os diferentes resultados indicam que as propriedades termofísicas da dentina humana variam dentro de uma faixa em função do doador, da faixa etária do mesmo e do dente do qual se retirou a amostra, não devendo utilizar-se valores médios, mas trabalhar com uma faixa como norma de segurança.
- Os valores das medições de difusividade, massa específica e calor específico da dentina humana, e os valores calculados de condutividade térmica, situaram-se próximos à maioria dos valores da literatura.
- Parece não haver influência da direção dos túbulos dentinários nos resultados dos valores de medição da difusividade e condutividade térmica da dentina humana confirmando outros autores da literatura.
- Como a cerâmica Empress Esthetic possui a mesma condutividade térmica da dentina, este material pode ser considerado compatível termicamente com a dentina humana.
- O presente estudo contribui, também, com o enriquecimento, dos poucos dados das propriedades termofísicas da dentina humana disponíveis na literatura.

Agradecimentos

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN-CNEN pela disponibilização dos Laboratórios de Análises Térmicas e de Medição de Propriedades Termofísicas de Combustíveis Nucleares e Materiais e ao Dr. Luis Oliveira de Faria, juntamente com as estagiárias Edna Carla da Silva e Sirlaine Diniz Ferreira Brandão, pela medição do calor específico por meio de calorimetria diferencial exploratória (DSC-Differential Scanning Calorimetry).

REFERÊNCIAS

- 1 NASH, R. W. Pressed ceramics for anterior full crowns. Nash Institute for Dental Learning Charlotte, North Carolina. Disponível em: http://www.contemporaryestheticsonline.com/issues/articles/2006-05_04.asp. Acesso em: 09.01.2008.
- 2 IVOCLAR. Vivadent. Documentación científica. Investigación y Desarrollo. Departamento científico, Giugno 2004.
- 3 PANAS, A. J.; ZMUDA, S.; TERPILOWSKI, J.; PREISKORN, M. Investigation of the thermal diffusivity of human tooth hard tissue. Int. J. Thermoph. v.4, n.3, p.837-848, 2003.

- 4 CESAR JUNIOR, W. A. Restaurações cerâmicas anteriores: do preparo à cimentação. *International Journal of Brazilian Dentistry*, São José, v.3, n.3, p. 254-263, jul./set. 2007.
- 5 POSS, S.D.; FOSTER, R. The challenge of treating dark teeth. *Oral Health Journal on line*. April, 2006. Disponível em: [http://www.oralhealthjournal.com / issues / past_issues.asp](http://www.oralhealthjournal.com/issues/past_issues.asp). Acesso em: 09.01.2008.
- 6 PARKER, W. J.; JENKINS, R. J.; BUTLER, C. P.; ABBOTT, G. L. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity. *J. Appl. Phys.*, v.32, n.9, pp.1679-84.1961.
- 7 FERREIRA, R. A. N.; MIRANDA, O.; DUTRA NETO, A.; GROSSI, P. A.; MARTINS, G. A.; REIS, S. C.; ALENCAR, D. A.; SOARES FILHO, J. G.; LOPES C. C.; PINHO, M. G. Implantação no CDTN de Laboratório de Medição de Propriedades Termofísicas de Combustíveis Nucleares e Materiais através do Método flash laser. In: ENFIR - ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DE REATORES, 13, 2002, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABEN
- 8 DÖRR, W.; ASSMANN, H.; MAIER, G.; STEVEN, J. Bestimmung der dichte, offenen porosität, porengrossenverteilung und spezifischen oberfläche von UO₂ – tabletten. *Journal of Nuclear Materials*, v.81, p.135-141, 1979.
- 9 FERREIRA, R. A. N. Relatório de Missão do Engenheiro Ricardo Alberto Neto Ferreira na Alemanha. Relatório de Missão DETS. PD. 02/80. Nuclebrás/CDTN, 1980.
- 10 MANLY, R. S.; HODGE, H. C.; ANGE, L. E. Density and refractive index studies of dental hard tissues. *J. Dent. Res.*, v.15, p.203-211, 1939
- 11 LISANTI, V. F.; ZANDER, H. A. Thermal conductivity of dentin. *J. Dent. Res.*, v.29, n.4, p.493-497, Aug. 1950.
- 12 SIMERAL, W. G. Thermal conductivity of dental materials, microfilm of papers presented at the annual IADR, Dental Materials Group Meeting, March, 1951, *J. Dent. Res.*, v.30, p.499, apud Craig, R. G., Peyton, F. A. Thermal conductivity of tooth structure, dental cements and amalgam. *J. Dent. Res.*, v.40, n.3, p.411-417, 1961.
- 13 PEYTON, F. A.; SIMERAL, W. G. Specific heat of tooth structure. *Alumni Bulletin of the University of Michigan Dental School*, v.56, p.33, 1954 apud BROWN, W. S.; DEWEY, W. A.; JACOBS, H. R. Thermal properties of teeth. *J. Dent. Res.*, v.49, n.4, p.752-755, 1970.
- 14 PHILLIPS, R. W.; JOHNSON, R. J.; PHILIPS, L. J. Improved method for measuring the coefficient of thermal conductivity of dental cement. *JADA*, v.53, p.577, 1956 apud SOYENKOFF, B. C.; OKUN, J. H. Thermal conductivity measurements of dental tissues with the aid of thermistors. *J. Am. Dent. Assoc.*, v.57, p.23-30, 1958.
- 15 SOYENKOFF, B. C.; OKUN, J. H. Thermal conductivity measurements of dental tissues with the aid of thermistors. *J. Am. Dent. Assoc.*, v.57, p.23-30, July 1958.
- 16 CRAIG, R. G.; PEYTON, F. A. Thermal conductivity of tooth structure, dental cements and amalgam. *J. Dent. Res.*, v.40, n.3, p.411-417, 1961.
- 17 BRADEN, M. Heat conduction in normal human teeth. *Arch. Oral Biol.*, v.9, p.479-486, 1964.
- 18 BROWN, W. S.; DEWEY, W. A.; JACOBS, H. R. Thermal properties of teeth. *J. Dent. Res.*, v.9, n.4, p.752-755, July-August 1970.
- 19 BOROVSKY, E. V. et al. Propriedades termofísicas de tecidos duros do dente e cálculo dos regimes de fusão do esmalte dental por radiação laser. *Stomatol*, v.61, n.1, p.29-31, 1983.

- 20 ANDREU, M. I. G.; RODRÍGUEZ, A. M.; ZALDÍVAR, C. V.; AVÉS, E. P. Determinacion de algunas propiedades termofisicas del esmalte y la dentina. Rev. Cubana Estomatol., v.28, n.2, p.77-82, julio-diciembre, 1991.
- 21 CORNACHIA, T. P. M. Análise de tensões em restaurações estéticas indiretas. 2005. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.