

# Tratamento de superfície em porcelanas odontológicas por implantação iônica

## *Surface treatment of dental ceramics by ion implantation*

MOZZAQUATRO, Lucia H.\*  
SERBENA, F. C.\*\*  
FOERSTER, C. E.\*\*  
LEPIENSKI, C. M.\*\*\*  
ZAWISLAK, F. C.\*\*\*\*

### RESUMO

Este trabalho estudou os efeitos da irradiação iônica sobre as propriedades mecânicas de três cerâmicas odontológicas: Omega 900, Vitadur Alpha e IPS Empress 2. Em uma primeira etapa, foi investigada a qualidade do acabamento superficial das cerâmicas. Os melhores resultados foram obtidos com polimento tipo metalográfico. Em uma segunda etapa, amostras das cerâmicas, em forma de discos com polimento metalográfico, foram irradiadas com íons de N de 500 keV e fluência de  $2 \times 10^{16}$  íons/cm<sup>2</sup>. Ensaio de fricção e desgaste tipo pino-sobre-disco entre discos cerâmicos (virgens e irradiados) contra pinos de esmalte dental, foram realizados. Foram também investigados a dureza e o módulo de Young das amostras cerâmicas virgens e irradiadas através da técnica de nanoindentação. Os resultados obtidos mostraram que a irradiação iônica das amostras resultou em: i) redução do coeficiente de fricção e do desgaste entre os pares formados por cerâmica irradiada e esmalte dental (40%); ii) redução da dureza (45%) e do módulo de Young (35%) na região irradiada das amostras. Estes resultados mostram que a irradiação iônica pode ser usada para modificar as propriedades mecânicas de cerâmicas odontológicas comerciais, transformando-as em materiais mais compatíveis com o esmalte dental.

### PALAVRAS-CHAVE:

Cerâmicas odontológicas. Acabamento superficial. Irradiação iônica. Fricção. Desgaste. Dureza.

### INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos tiveram um rápido desenvolvimento nos últimos 20 anos. Novos materiais, para novas aplicações, têm sido produzidos, comercializados e utilizados em inúmeros campos. O uso de materiais cerâmicos em meio biológico humano foi inicialmente proposto por Rock, em 1933, a partir daí, as aplicações das biocerâmicas foram gradualmente sendo ampliadas em função dos resultados positivos alcançados nas diversas pesquisas realizadas nessa área (HLAVAC, 1983).

Desde o início de sua introdução em Odontologia, um tipo específico de cerâmica bioinerte e não reabsorvível, a porcelana, utilizada em procedimentos dentários restauradores ou substitucionais, vem sendo intensivamente investigada. Na literatura especializada pode ser constatada a contínua busca por melhorias em suas propriedades (KIRCHNER, 1979; SEGHI; DENRY; ROSENSTIEL, 1995; SOBRINHO; CATTELL; KNOWLES, 1998; ZHAO; BUSH, 2001). En-

tretanto, apesar do desenvolvimento tecnológico e do surgimento de novos sistemas cerâmicos essa classe de materiais ainda apresenta características desfavoráveis como fragilidade, com tendência à fratura catastrófica e o desgaste imposto ao esmalte dental (ROSENBLUM; SCHULMAN, 1997; McLEAN, 2001; BLATZ; SADAN; KERN, 2003)

O tecido dental sofre um desgaste fisiológico contínuo e inevitável, porém, quando em contato de deslizamento com a cerâmica esse desgaste é exacerbado e pode sofrer variações relacionadas ao tipo de sistema cerâmico empregado e as características de superfície desses sistemas. Diversos estudos vêm sendo realizados, com a intenção de compreender e identificar os fatores envolvidos no processo de desgaste entre as cerâmicas e a estrutura dental ou entre as cerâmicas e outros materiais restauradores (MILLER; POWERS; LUDEMA, 1975; EK-FELDT; OILO, 1978; SEGUI; ROSENSTIEL; BAUER, 1991; AI - HIYASAT; SAUN-

DERS; SMITHS, 1999; RAINFORTH, 2000).

Um fator que pode influenciar a taxa de desgaste é a rugosidade superficial final apresentada pelos materiais cerâmicos. Além do glaseamento, outras técnicas de acabamento superficial como, glaseamento seguido por polimento, têm sido propostas para obtenção de uma superfície cerâmica mais lisa e homogênea (KLAUSNER, 1982; WARD; TATE; POWERS, 1995; MAGNE; PINTADO; De LONG, 1999).

Nas últimas décadas houve um grande crescimento no número de técnicas associadas à modificação de superfícies, ou seja, métodos que mudam as propriedades da superfície de materiais sem afetar as propriedades de seu interior. A principal razão para este crescimento é que as forças destrutivas em muitas aplicações tecnológicas concentram-se no exterior do componente, reque-rendo propriedades superficiais que sejam intencionalmente diferentes do interior da peça. Entre os vários métodos de tratamen-

\* Mestre em Prótese Dental - Professora Assistente do Curso de Odontologia da UFSM, Santa Maria, RS

\*\* Doutor em Física - Professor Titular do Instituto de Física da UEPC, Ponta Grossa, PR

\*\*\* Doutor em Física - Professor Titular do Departamento de Física da UFPR, Curitiba, PR

\*\*\*\* Doutor em Física - Professor Titular do Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, RS

to de superfície, com o fim de melhorar as propriedades dos materiais, a implantação e irradiação iônica vêm sendo utilizadas com sucesso (WILLIAMS; 1986; WANG; EWING, 1992; WEBER, 2000).

O emprego de tratamentos de superfície em materiais odontológicos com a intenção de otimizar a atuação clínica dos mesmos, representa uma nova frente de pesquisa em Odontologia. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo, primeiramente, avaliar a influência de diferentes tipos de acabamentos superficiais de cerâmicas odontológicas no processo de desgaste e, posteriormente, comparar as propriedades mecânicas apresentadas por três cerâmicas odontológicas comerciais virgens e irradiadas com íons de nitrogênio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais investigados nesse trabalho foram as cerâmicas odontológicas Vitadur Alpha, Omega 900 (Vita Zahnfabrik H Rauter GmbH e Co. – Germany) e IPS Empress 2 (Ivoclar AG Aktiengesellschaft – Liechtenstein).

Para este trabalho, os corpos-de-prova das cerâmicas estudadas foram divididos em dois grupos. No grupo I, foram avaliadas as características de superfície das três cerâmicas odontológicas, submetidas a três diferentes tipos de acabamentos superficiais: autogloseamento, autogloseamento seguido de acabamento com kit odontológico para polimento de cerâmicas e polimento superficial do tipo metalográfico.

No grupo II, foram estudadas as propriedades mecânicas dos corpos-de-prova das cerâmicas irradiadas com íons de nitrogênio. Neste grupo, nove corpos-de-prova foram submetidos à irradiação com íons nitrogênio, enquanto outros nove corpos-de-prova não sofreram irradiação (grupo controle). Assim, foi possível comparar as propriedades mecânicas apresentadas pelos corpos de prova irradiados e pelos corpos-de-prova virgens (não irradiados).

### 1. Preparo dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova das cerâmicas citadas, em formato de discos, foram obtidos a partir de uma matriz com dimensões de 13 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura, que deu forma e dimensões padronizadas aos discos. Os discos de cerâmica foram confeccionados pelo método convencional, ou seja, o pó cerâmico adicionado ao líquido formou uma massa de consistência pastosa que foi vertida na matriz e o excesso de água foi removido pelo método vibratório de condensação. Após a compactação, os discos cerâmicos crus obtidos foram removidos da matriz e levados a um forno específico para cerâmicas odontológicas (Phoenix Ceramco Inc.

–Burlington- NJ 08016). Esse procedimento foi repetido para cada uma das cerâmicas, seguindo as recomendações do fabricante quanto ao processo de cocção das mesmas. No total, foram confeccionados 45 corpos-de-prova de cerâmica. No primeiro grupo foram utilizados 27 corpos-de-prova, nove para cada cerâmica estudada, sendo três corpos-de-prova submetidos à autogloseamento, três corpos-de-prova submetidos à autogloseamento e polimento com kit odontológico e três corpos-de-prova polidos metalograficamente. No segundo grupo foram empregados 18 corpos-de-prova, sendo nove submetidos à irradiação iônica (três de cada cerâmica estudada) e nove não irradiados (virgens).

Os corpos-de-prova de esmalte dental foram obtidos a partir de 45 dentes extraídos recentemente (3º molares superiores). Esses dentes foram seccionados com discos diamantados (Intensive Dental, nº 273d – Swiss Dental), próximo à junção cimento-esmalte. Após o seccionamento, a porção coronária foi desgastada com brocas carbide de alta rotação, nº 1157 (SS White-Lakewood, NJ, USA) seguidas por brocas de baixa rotação de mesmo formato, para isolar as cúspides palatinas desses dentes, obtendo-se blocos com formato cilíndrico de, aproximadamente, 3 mm de altura e 5 mm de diâmetro, que foram armazenados em água destilada.

### 2. Acabamento superficial dos discos cerâmicos

No grupo I, três corpos-de-prova de cada cerâmica estudada foram submetidos aos três diferentes tipos de acabamento superficial, conforme especificado a seguir:

i. Autogloseamento da superfície dos discos através de sua recondução ao forno, na temperatura indicada para cada sistema.

ii. Autogloseamento da superfície dos discos, como descrito acima, seguido de acabamento superficial com kit odontológico comercial para polimento (EVE – RA 103 – Germany).

iii. Pré-polimento seqüencial com lixas de carbeta de silício, de granulação decrescente (400, 600 e 1000), em uma politriz (DP9 Struers, em 300rpm). O polimento final foi realizado com discos de feltro e pastas diamantadas (Christensen Roder) JP9 (grãos de 06 a 12 mm) e JPI (grãos inferiores a 2 mm). Esse tipo de acabamento foi denominado de polimento metalográfico.

No grupo II, os 18 corpos-de-prova de cerâmica foram submetidos, apenas, ao acabamento superficial do tipo polimento metalográfico.

### 3. Técnicas empregadas

As técnicas experimentais empregadas

nesse estudo foram as seguintes: implantação de íons, ensaio de desgaste em tribômetro, cálculo da perda de massa do esmalte dental, microscopia eletrônica de varredura e ensaios de nanodureza.

A implantação iônica, técnica de tratamento de superfície que permite introduzir qualquer elemento químico em uma dada matriz para mudar suas propriedades mecânicas, elétricas ou magnéticas (BUTTLER, 1990; LEE, 1990), foi realizada em nove corpos-de-prova de cerâmica, três para cada cerâmica testada. Nesse trabalho, o enfoque da análise foi direcionado à região irradiada e não à região implantada da superfície das cerâmicas, isto é, o estudo se concentrou nas modificações superficiais produzidas pela irradiação, sem considerar a região onde os íons nitrogênio foram depositados nos corpos-de-prova (região implantada). As irradiações com íons de nitrogênio foram executadas no implantador de íons de 500 kV, HVEE500 (High Voltage Engineering Europe 500) do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com os seguintes parâmetros: energia de 500 keV, dose de  $2 \times 10^{16}$  íons/cm<sup>2</sup> e corrente de 0,2 mA/cm<sup>2</sup>, em vácuo de  $4 \times 10^{-6}$  mbar e a temperatura ambiente. O alcance projetado dos íons, nos corpos-de-prova das cerâmicas, foi calculado pelo programa computacional TRIM (Simulação Monte Carlo para Transporte de Íons na Matéria) (WEBER, 1990) e correspondeu a 1 mm. O íon nitrogênio, selecionado para a irradiação das cerâmicas odontológicas, tem sido empregado em diversos materiais e, além disso, é de fácil utilização na técnica de implantação iônica por nitretação em plasma (MATTHEWS; GREER; ARMSTRONG, 1986; LEITAO; BARBOSA; De GROOT, 1998).

Os ensaios de desgaste (ASTM-G99, 1990) dos pares tribológicos, discos de cerâmica e pinos de esmalte dental, foram realizados em um tribômetro TE79 (Plint & Partners, 1999) no Laboratório Mössbauer do Instituto de Física da UFRGS. Com o objetivo de calcular a profundidade do desgaste ocorrido na superfície das cerâmicas foi realizado um estudo-piloto, com microscopia de força atômica. Os resultados obtidos indicaram que, em um ensaio de desgaste com tempo de duração de 600 s, a profundidade da trilha de material desgastado formada na superfície dos corpos-de-prova de cerâmica virgem girou em torno de 1 μm, que corresponde ao alcance projetado do íon de N<sup>+</sup> implantado com energia de 500 keV. Portanto, os parâmetros operacionais adotados nesses ensaios foram: carga de 10 N, tempo de duração de ensaio de 600 s, velocidade de deslizamento de 250 rpm (53 mm/s), raio da trilha de 2 mm e distância total de deslizamento de 32 m. Consideran-

do que, durante a mastigação, o contato oclusal de deslizamento é de, aproximadamente, 0,5 mm e supondo esse contato como 1 ciclo, no final do ensaio foi atingido um total de 62.500 ciclos (De LONG; DOUGLAS, 1983).

A partir desses dados, novos ensaios de desgaste foram realizados entre corpos-de-prova de cerâmicas virgens contra esmalte dental e entre corpos-de-prova de cerâmicas irradiadas com íons nitrogênio contra esmalte dental. O acabamento superficial, realizado nesses corpos-de-prova, foi do tipo metalográfico. Para esses ensaios, foi calculada a média do coeficiente de fricção gerado nos três corpos-de-prova de cada cerâmica.

Os discos de cerâmica virgens submetidos aos três diferentes acabamentos superficiais e os discos de cerâmica irradiados foram analisados em microscópio eletrônico de varredura (MEV), JEOL, modelo JSM 5800 do Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS (LAWES; JAMES, 1987). Também foram obtidas imagens de MEV da superfície do esmalte dental, antes e após a execução dos ensaios de desgaste. Como as cerâmicas estudadas são compostas basicamente por material amorfo, anteriormente a análise no MEV os corpos-de-prova foram metalizados com uma camada micrométrica de ouro para possibilitar a observação das superfícies dos mesmos.

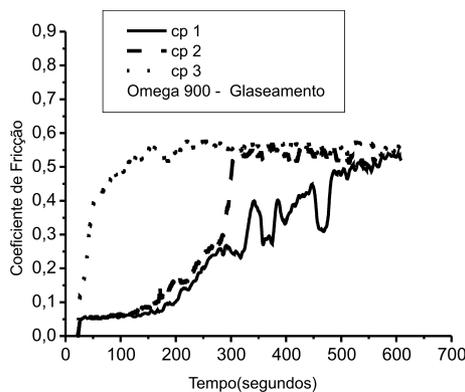
Os ensaios nanomecânicos (BROTZEN; PHARR; LEPIENSKI, 1998), para obtenção da dureza superficial e do módulo de Young, dos corpos-de-prova de cerâmica virgens e irradiados foram realizados em equipamento Nanoindenter XP, do departamento de Física da Universidade Federal do Paraná. O penetrador mais frequentemente empregado em ensaios nanomecânicos é a ponta de diamante do tipo Berkovich que possui a geometria de uma pirâmide regular de base triangular, onde cada lado forma um ângulo de  $65,3^\circ$ , de tal forma que tem a mesma relação profundidade-área apresentada pelo tipo Vickers. O penetrador Berkovich é preferido em relação ao Vickers pela dificuldade de se conseguir na fabricação fazer com que os quatro lados da ponta Vickers terminem num único ponto.

Os ensaios de nanoindentação permitiram a obtenção do módulo de Young e do perfil de dureza, em escala nanométrica, das cerâmicas virgens e irradiadas. As medidas de dureza e módulo de Young foram realizadas a partir de eventos sucessivos de carga e descarga, relativos ao acréscimo de carga a que foram submetidas às superfícies desses corpos-de-prova, que nesse estudo foram de 2, 5, 10, 20 e 40 g. A partir das curvas geradas nesse procedimento e através da utilização do método de Oliver-Pahr (COOK; PHARR, 1990) foi possível obter a

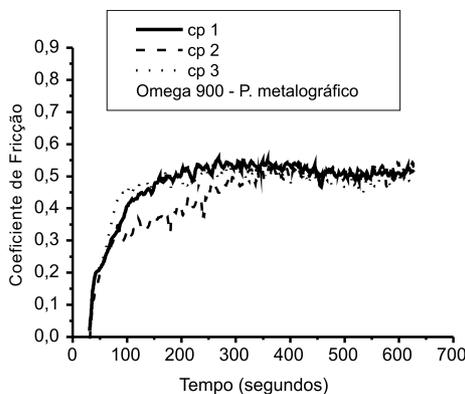
profundidade máxima de penetração para cada carga, o módulo de Young e a nanodureza do material.

## RESULTADOS

O acabamento superficial normalmente empregado nas restaurações cerâmicas odontológicas é do tipo autoglaseamento. Porém, durante os ensaios de desgaste realizados com corpos-de-prova glaseados e polidos com kit as curvas de medida de coeficiente de fricção apresentaram grande variabilidade de valores. Esse comportamento é ilustrado pela Figura 1 para a cerâmica Omega 900. Por sua vez, os corpos-de-prova submetidos ao polimento metalográfico mostraram resultados congruentes entre os três corpos-de-prova de cada cerâmica estudada, conforme mostrado na Figura 2. Nessa figura pode ser observado que, após 300s de ensaio ocorreu uma uniformização de valores entre as curvas dos três corpos-de-prova da cerâmica Omega 900. Esse resultado se repetiu para os corpos-de-prova das cerâmicas Vitadur



**Figura 1** – Cerâmica Omega 900 com superfície glaseada ensaiada contra esmalte dental. Os três corpos-de-prova da mesma cerâmica apresentam resultados de coeficiente de fricção bastante diversos.

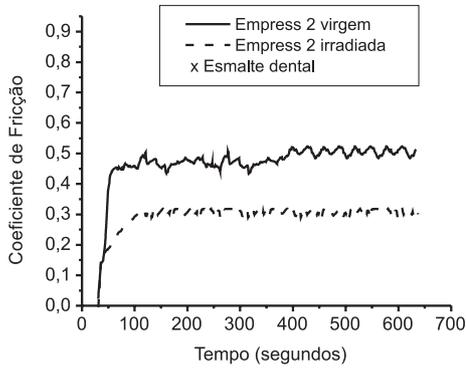


**Figura 2** – Cerâmica Omega 900 com superfície submetida a polimento metalográfico. A partir de 300s de ensaio as curvas apresentam resultados muito próximos.

Alpha e Empress 2.

Os coeficientes de fricção gerados entre os pares tribológicos do grupo I, com diferentes acabamentos superficiais, com as respectivas médias, dos três corpos-de-prova de cada cerâmica são apresentados na Tabela I. Como pode ser observada na tabela I, a cerâmica Omega 900 autoglaseada e as cerâmicas Vitadur Alpha e Empress 2 polidas com kits odontológicos apresentaram menores valores de coeficiente de fricção. Entretanto, esses resultados foram decorrentes da maior variação nos valores de coeficiente de fricção e da elevada instabilidade das curvas de fricção em função do tempo, constatada entre os corpos-de-prova de cada cerâmica, obtidas durante os referidos ensaios. Estes valores iniciais muito baixos resultaram em menores coeficientes de fricção, como pode ser constatado na Figura 1. Por outro lado, nas cerâmicas com polimento metalográfico, as curvas de coeficiente de fricção em função do tempo, obtidas para os três corpos-de-prova de cada cerâmica estudada mostraram grande similaridade de valores e estabilização das curvas em torno de 300s de ensaio. Além disso, a análise das imagens das superfícies das cerâmicas com os diferentes tipos de acabamento superficial, obtidas por MEV, confirmou a obtenção de melhores resultados, isto é, superfície mais lisa e regular, quando empregado o acabamento do tipo polimento metalográfico.

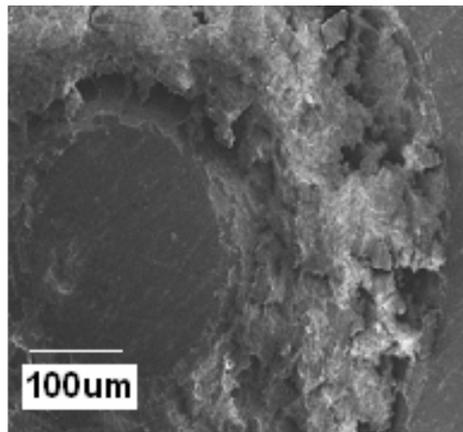
Nos pares tribológicos do grupo II, para facilitar a comparação dos resultados de coeficiente de fricção obtidos entre cerâmicas virgens e irradiadas, foi realizada o cálculo do valor médio de coeficiente de fricção atingido pelos três corpos-de-prova de cada cerâmica, para cada situação (irradiado ou virgem). Assim, a Figura 3 mostra duas curvas, uma representando a média do coeficiente de fricção gerado na cerâmica Empress 2 virgem e a outra representando a média do coeficiente de fricção gerado na cerâmica Empress 2 irradiada, durante os ensaios de desgaste. Nessa figura, pode ser observado que a redução na média do coeficiente de fricção, ocorrida na cerâmica irradiada, se manteve até o final do ensaio. Reduções semelhantes também ocorreram nas cerâmicas Omega 900 e Vitadur Alpha irradiadas.



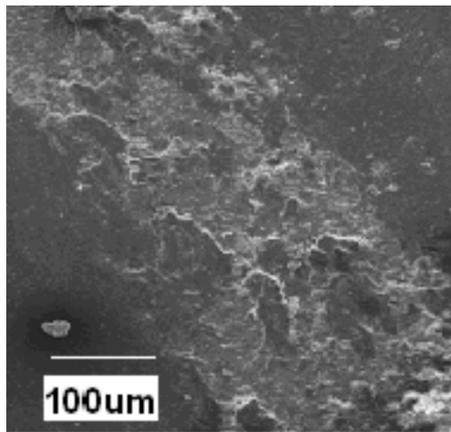
**Figura 3** – Média do coeficiente de fricção da cerâmica Empress 2 virgem e irradiada. A curva que representa a cerâmica irradiada mostra acentuada redução no coeficiente de fricção.

A diminuição do coeficiente de fricção, gerado entre as porcelanas irradiadas ensaiadas contra esmalte dental, refletiu uma modificação no processo de desgaste ocorrido entre esses pares tribológicos, indicando a ocorrência de redução no desgaste sofrido pelo esmalte dental. Essa redução foi confirmada pela pesagem dos corpos-de-prova de esmalte dental, em balança de precisão de 6 dígitos (Mitutoyo), antes e após os ensaios de desgaste. O cálculo da variação de massa ocorrida comprovou uma redução de 40% no desgaste do esmalte dental. Esses resultados são mostrados na Tabela II.

Após os ensaios de desgaste, as imagens da superfície do esmalte, obtidas por MEV, mostraram a formação de trilhas de desgaste bem mais pronunciadas quando este foi ensaiado contra cerâmicas virgens, conforme esperado. As imagens das trilhas de desgaste formadas nas superfícies das cerâmicas virgens e irradiadas, obtidas por MEV, também



apresentaram redução no desgaste superficial ocorrido nas cerâmicas irradiadas, confirmando a modificação tribológica ocorrida entre os pares: cerâmica irradiada x esmalte, conforme ilustrado na Figura 4.



**Figura 4** – (a) Imagem da trilha de desgaste formada na superfície da cerâmica Vitadur Alpha virgem ensaiada contra esmalte dental. (b) Trilha de desgaste formada na superfície da cerâmica Vitadur Alpha irradiada (400x). Através dessas imagens é possível constatar a alteração no processo de desgaste ocorrida no par tribológico esmalte dental x cerâmica irradiada, em função das alterações das propriedades superficiais ocasionadas pelo processo de irradiação.

**Tabela I** - Coeficiente de fricção dos corpos-de-prova cerâmicos com três diferentes tipos de acabamento superficial contra esmalte dental, com suas respectivas médias e cálculo do erro, em ensaios de desgaste de 600s. Cp 1, Cp 2 e Cp 3 – correspondem aos três corpos-de-prova de cada cerâmica, utilizados em cada ensaio.

Cerâmicas	Acabamento Superficial					
	Glaseamento		Glaseamento + kit		P. metalográfico	
	m	(média)	m	(média)	m	(média)
Omega 900						
Cp1	0,33	0,43	0,46	0,50	0,47	0,50
Cp2	0,40		0,55		0,52	
Cp3	0,55	(±0,14)	0,54	(±0,05)	0,51	(±0,02)
Vitadur Alpha						
Cp1	0,59	0,50	0,55	0,43	0,47	0,49
Cp2	0,44		0,36		0,50	
Cp3	0,48	(±0,07)	0,39	(±0,09)	0,52	(±0,02)
IPS Empress 2						
Cp1	0,58	0,52	0,34	0,35	0,50	0,51
Cp2	0,53		0,30		0,52	
Cp3	0,44	(±0,07)	0,40	(±0,05)	0,50	(±0,01)

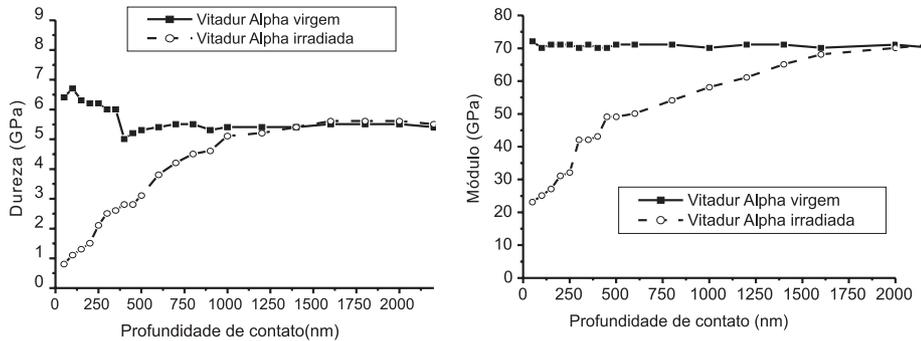
**Tabela II** - Resultados das médias e do desvio-padrão do coeficiente de fricção e da perda de massa dos três corpos-de-prova de cada cerâmica testada contra esmalte dentário, em situação virgem e irradiada.

Cerâmicas	Par tribológico CERÂMICA X ESMALTE					
	Coeficiente de fricção ( $\mu$ )			Perda de massa do esmalte (mg)		
	Omega 900 DP	Vitadur Alpha DP	Empress 2 DP	Omega 900 DP	Vitadur Alpha DP	Empress 2 DP
Virgem	0,50 (±0,005)	0,48 (±0,004)	0,47 (±0,004)	262 (±5,7)	233 (±4,6)	216 (±4,2)
Irradiada com Nitrogênio	0,37 (±0,003)	0,34 (±0,002)	0,33 (±0,002)	160 (±4,1)	140 (±3,4)	128 (±3,2)

Os resultados dos ensaios nanomecânicos para obtenção dos valores de dureza e módulo de Young das cerâmicas Omega 900, Vitadur Alpha e IPS Empress 2, indicaram, nas cerâmicas irradiadas, uma redução de 60% nos valores de dureza e de 40% do módulo de Young quando comparados aos valores obtidos nas cerâmicas virgens. A figura 5 ilustra a redução de dureza e módulo de Young obtida na cerâmica Vitadur Alpha irradiada comparada à cerâmica virgem.

## DISCUSSÃO

Neste trabalho, as cerâmicas estudadas representam diferentes sistemas cerâmicos, este fato tornaria inviável a comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados, porém, os corpos-de-prova foram confeccionados com as cerâmicas incisais desses sistemas: EN1 (Vitadur Alpha), E1 (Omega 900) e S1 (Empress 2). Dessa forma, nesse estudo as cerâmicas de recobrimento empregadas puderam ser delineadas no diagrama ternário de fases: K O – Al O – Si O , apresentando microestrutura heterogênea composta por fase(s) cristalina(s) dispersa(s) em uma matriz vítrea, possibilitando o estudo



**Figura 5 – (a).** Média da dureza dos corpos-de-prova da cerâmica Vitadur Alpha virgem e irradiada. Observa-se na curva da cerâmica irradiada que na faixa correspondente a região irradiada (até 1 $\mu$ m) ocorreu acentuada diminuição da dureza. **(b)** Média do módulo de Young dos corpos-de-prova da cerâmica Vitadur Alpha virgem e irradiada.

comparativo dos resultados alcançados (BARREIRO; RIESGO; VICENTE, 1989).

Um tema discutido com frequência na literatura odontológica é se a obtenção de uma superfície cerâmica mais lisa e homogênea é resultante de um tratamento superficial do tipo glaseamento ou do tipo glaseamento seguido por polimento da restauração cerâmica. Essa questão tomou novas proporções pelo crescente aumento no uso de restaurações cerâmicas sem subestrutura metálica, em função disso, uma variedade de kits comerciais vem sendo desenvolvidos com a finalidade de melhorar o acabamento superficial intra-oral dessas restaurações.

A influência da qualidade de superfície no processo de desgaste das cerâmicas, nesse estudo, foi analisada com base nas variações ocorridas nos valores do coeficiente de fricção gerado entre os pares tribológicos: esmalte dental ensaiado contra as cerâmicas Vitadur Alpha, Omega 900 e Empress 2 glaseadas, polidas com kit, e com polimento metalográfico. As imagens das superfícies das cerâmicas submetidas aos três tipos de acabamentos citados, obtidas por MEV, complementaram essa análise mostrando que os melhores resultados foram alcançados nas cerâmicas com polimento metalográfico.

Na avaliação das alterações das propriedades superficiais, ocasionadas pelo processo de irradiação, os resultados obtidos mostraram acentuada redução na dureza e no módulo de Young das cerâmicas irradiadas. A redução na dureza dessas cerâmicas foi considerada benéfica uma vez que causou modificações no processo de desgaste ocorrido entre os pares tribológicos testados e, por conseqüência, menor desgaste sofrido pelo esmalte dental. Por outro lado, a redução no módulo de Young também observada nas cerâmicas irradiadas ocasionou redução na rigidez, possibilitando maior deformação elástica dessas cerâmicas quando submetidas a uma dada tensão, aumentan-

do, assim, o limite de proporcionalidade e, conseqüentemente, a resistência à fratura das mesmas.

Portanto, as alterações observadas nas propriedades das cerâmicas irradiadas com íons de nitrogênio ocasionaram menor desgaste ao esmalte dental. Essa redução de 40% é um fator de grande relevância clínica, uma vez que o desgaste exacerbado do esmalte pelas restaurações cerâmicas é um dos sérios problemas apresentados por esse material restaurador.

A discussão sobre as alterações nas propriedades das cerâmicas odontológicas submetidas à irradiação é bastante complexa por se tratar de um material com microestrutura heterogênea. Conforme relatos de estudos anteriores (ABBAS et al, 2000; DESKOVSKAIA, 2000; CÁCERES et al, 2000), as modificações ocorridas na matriz vítrea podem, basicamente, ser vinculadas a alterações estruturais no tetraedro SiO<sub>4</sub>, devido ao *sputtering* de átomos de oxigênio<sup>4</sup> próximos à superfície, produzindo vacâncias e/ou pelo *sputtering* de átomos de metais alcalinos produzindo oxigênios não formadores de ponte, resultando em descontinuidade da rede.

Quanto ao efeito de radiação na fase cristalina (WANG; EWING, 1992; WEBER, 2000) dessas cerâmicas é preciso considerar que nesse trabalho a irradiação de íons nitrogênio foi realizada a temperatura ambiente, não ocorrendo, assim, recuperação térmica dos danos de irradiação ocasionados na fase cristalina o que, teoricamente, asseguraria o processo de amorfização da mesma, que certamente afeta a microestrutura da cerâmica junto à superfície.

Esse trabalho representa uma primeira tentativa da utilização de uma técnica de tratamento de superfície, como a implantação iônica, em cerâmicas odontológicas, e apesar de não ser possível apresentar com exatidão todos os fenômenos envolvidos nesse processo, a contribuição desse trabalho na

busca por melhorias nas propriedades de superfície das cerâmicas odontológicas apresentou resultados bastante promissores. Futuros estudos das características estruturais da região irradiada, usando técnicas como microscopia eletrônica de transmissão e/ou raios-X a ângulo rasante, deverão trazer informações adicionais sobre os mecanismos responsáveis pelos efeitos benéficos da irradiação iônica das cerâmicas.

Além disso, ensaios mecânicos complementares como tenacidade de fratura e resistência à flexão auxiliarão na avaliação dos efeitos da irradiação sobre as propriedades das cerâmicas odontológicas.

Apesar do entendimento que a técnica de irradiação iônica empregada nesse trabalho não possibilite aplicação clínica em próteses dentais, essa técnica foi escolhida como ponto de partida para explorar as possíveis alterações benéficas nas propriedades mecânicas das cerâmicas odontológicas. Na segunda etapa desse trabalho, será empregada a técnica de implantação de íons por imersão em plasma, que estudará os efeitos da implantação nas propriedades de restaurações cerâmicas, anteriormente a cimentação das mesmas viabilizando, assim, sua aplicação clínica.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, inicialmente, foram realizados ensaios para avaliar a influência de três tipos de acabamentos superficiais no processo de desgaste ocorrido em cerâmicas odontológicas e também, para definir qual acabamento proporcionou uma superfície mais regular nessas cerâmicas. Após definido o tipo de acabamento superficial (polimento metalográfico) foram preparados dois grupos: um grupo controle, formado por corpos-de-prova de porcelanas virgens e um grupo formado por corpos-de-prova submetidos à irradiação com íons de nitrogênio. Os resultados obtidos levaram às seguintes conclusões:

Em relação ao acabamento superficial os resultados mostraram que o polimento superficial é um fator muito importante na análise do coeficiente de fricção e do desgaste. Dos três métodos usados, dois são procedimentos de acabamento superficial empregados em Odontologia, o terceiro método (polimento metalográfico) não tem sido usado em cerâmicas e parece ser difícil sua aplicação em restaurações dentárias. No entanto, os resultados obtidos nesse trabalho mostram que o acabamento superficial é importante e que outros métodos de acabamento superficial devem ser considerados, já que afetam sobretudo as propriedades tribológicas. Nesse sentido, a contribuição desse trabalho parece ser importante.

As reduções dos valores de coeficiente de fricção, dureza e módulo de elasticidade, verificadas nas cerâmicas irradiadas foram

vinculadas às alterações estruturais decorrentes do processo de irradiação. Dessa forma, a diminuição na quantidade de esmalte perdido, constatada após os ensaios de desgaste contra as cerâmicas irradiadas, foi correlacionada à redução do coeficiente de fricção, da dureza e do módulo de elasticidade ocorridos nessas cerâmicas. Os resultados obtidos nos ensaios realizados foram congruentes. Assim, todas as medidas executadas com as diferentes técnicas empregadas neste trabalho, confirmaram as modificações no sentido esperado: redução do desgaste do esmalte dental.

É importante ressaltar que os resultados alcançados nas cerâmicas odontológicas irradiadas com íons de nitrogênio apontaram melhorias em seu desempenho clínico. Entretanto, são necessários estudos adicionais, utilizando um número mais representativo de corpos-de-prova que possibilitem uma avaliação estatística dos resultados obtidos e estudos complementares sobre as alterações microestruturais ocorridas nessas cerâmicas.

#### ABSTRACT

In this work were studied the ion irradiation effects on the mechanical properties of three dental ceramics: Omega 900, Vitadur Alpha e IPS Empress 2. Initially, it was investigated the quality of surface finishing for the three ceramics. The best results were obtained using metallographic polishing. In a second phase metallographically polished samples in form of small discs, were irradiated with 500 keV N ions at a fluence of  $2 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>. The friction coefficients and wear between virgin and ion irradiated ceramics samples against enamel dental pins, were measured using a pin-on-disk tribometer. Hardness and Young modulus of the ceramic discs (virgin and irradiated) have been also determined using the nanoindentation technique. The obtained results show that the ion irradiation produces: i) a reduction of 40% in the friction coefficients and wear between the irradiated ceramic discs and the dental enamel, and ii) a decrease of hardness (45%) and Young modulus (35%) in the irradiated region of the samples. There results show that ion irradiation can be used to modify the commercial dental ceramics mechanical properties, transforming them into materials more compatible with dental enamel.

#### KEYWORDS:

Wear. Hardness. Dental ceramics. Superficial polishing. Ion irradiation. Friction.

#### REFERÊNCIAS

ABBAS, A. et al. Evolution of Nuclear Glass Structure Under  $\alpha$ -irradiation. **Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.**, Amsterdam, v. B 166-167, p.445-450, 2000.

AL-HIYASAT, A.; SAUNDERS, W.P.; SMITHS, G.M. Three-body Wear Associated with three Ceramics and Enamel. **J. Prosth. Dent.**, St. Louis v.82, no.4, p.476-481, 1999.

ASTM-G99. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASM Handbook, 1990.

BARREIRO, M.M.; RIESGO, O.; VICENTE, E.E. Phase Identification in Dental Porcelains for Ceramo-metallic Restorations. **Dent Mater.**, Kidlington, v.5, p.51-57, 1989.

BLATZ, M.B.; SADAN, A.; KERN, M. Resin-ceramic Bonding: A Review of the Literature. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.89, no.3, p. 268-264, 2003.

BROTZEN, F.; PHARR, G. E; LEPIENSKI, C. M. Propriedades Nanomecânicas de Superfícies, Filmes Finos e Revestimentos. In: **CBECIMAT, 13; SEMEL,6**. Curitiba, 1998. 76p.

BUTTLER, J.W. Ion Implantation. In: **Kirk-Othmer Enciclopedy of Chemical Technology**. 3ed. New York: John Willey & Sons, 1990.

CÁCERES, D. et al. Nanoindentation on Neutron Irradiated MgO Crystals. **Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.**, Amsterdam, v. B 191, p.178-180, 2002.

COOK, R. F.; PHARR, G. M. Direct Observation and Analysis of Indentation Cracking in Glasses and Ceramics. **J. Am. Ceram. Soc.**, v.73, no.4, p.787-817, 1990.

De LONG, R.; DOUGLAS, W.H. Development of an Artificial Oral Environment for the Testing of Dental Restoratives: Biaxial Force and Movement Control. **J. Dent. Res.**, Alexandria, v.62, no.1, p.32-36, 1983.

DESKOVSKAYA, A. Ion Beam-stimulated Processes in Glasses. **Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.**, Amsterdam, v. B 166-167, p. 511-516, 2000.

EKFELDT, A.; OILO, G. Occlusal Contact Wear of Prosthetic Materials. **Acta Odontol. Scand.**, Copenhagen, v.46, p.142-167, 1988.

HLAVÁČ, J. **The Technology of Glass and Ceramics – An Introduction**. New

York: Elsevier, 1983. P. 244-319.

KIRCHNER, H.P. **Strengthening of Ceramics – Treatments, Tests and Design Applications**. New York: Marcel Dekker, 1979. P.242.

KLAUSNER, L.H. et al. Polished versus Autoglated Porcelain Surfaces. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.47, no.2, p.157-162, 1982.

LAWES, G.; JAMES, A.M. **Scanning Electron Microscopy and x-ray Microanalysis**. London: John Wiley & Sons, 1987.

LEE, S.M. Film Deposition Techniques. In: **Kirk-Othmer Enciclopedy of Chemical Technology**. 3ed. New York: John Willey & Sons, 1990. P. 247-283.

LEITÃO, E.; BARBOSA, M.A.; DE GROOT, K. In vitro Testing of Surface-Modified Biomaterials. **J. Mater. Sci.: Mat. Med.**, Boston, v.9, p.543-548, 1998.

MAGNE P.; PINTADO, M.R.; De LONG, R. Wear of Enamel and Veneering Ceramics after Laboratory and Chairside Finishing Procedures. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.82, no.6, p.669-679, 1999.

MATTHEWS, F.D.; GREER, K.W.; ARMSTRONG, D.L. The Effect of Nitrogen Ion Implantation on the Abrasive Wear Resistance of Ti-6Al-4V/UHMWPE Couple. **Mater. Res. Soc. Symp. Proc.**, New York, v 5, p. 243-252, 1986.

Mc LEAN, J.W. Evolution of Dental Ceramics in the Twentieth Century. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v. 85, no.1, p. 61-66, 2001.

MILLER, G.R.; POWERS, J.M.; LUDEMA, K.C. Frictional Behavior and Surface Failure of Dental Feldspathic Porcelain. **Wear**, v.31, p. 307- 316, 1975.

RAINFORTH, W.M. Microstructural Evolution at the Worn Surface: A Comparison of Metals and Ceramics. **Wear**, v.245, p. 162-177, 2000.

ROSENBLUM, M.A.; SCHULMAN, A. A Review of All-Ceramic Restorations. **J. Am. Dent. Assoc.**, Chicago, v.128, p.297-307, 1997.

SEGHI, R.R.; DENRY, I.L.; ROSENS-TIEL, S.F. Relative Fracture Toughness

and Hardness of New Dental Ceramics. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v. 74, no. 2, p. 145-50, 1995.

SEGHI, R.R.; ROSENSTIEL, S.F.; BAUER, P. Abrasion of Human Enamel by Different Dental Ceramics in vivo. **J. Dent. Res.**, Alexandria, v.70, no.3, p. 221-225, 1991.

SOBRINHO, L.C.; CATTELL, M.J.; KNOWLES, J.C. Fracture Strength of All-Ceramic Crowns. **J. Mater. Science: Mat. Med.**, Boston, v.9, p. 555-559, 1998.

ZHAO, H.; HU, X; BUSH, M.B. Cracking of Porcelain Coatings Bonded to Metal Substrates of Different Modulus and Hardness. **J. Mater. Res.**, Pittsburgh, v.16, no. 5, p. 1471-1477, 2001.

WANG, L. M.; EWING, R. C. Ion-beam-induced Amorphization of Complex Ceramic Materials-Minerals. **MRS Bull.**, Pittsburgh, p.38-44, 1992.

WARD, M.T.; TATE, W.H., POWERS, J.M. Surface Roughness of Opalescent Porcelains after Polishing. **Oper. Dent.**, Seattle, v.20, p.106-110, 1995.

WEBER, W.J. Radiation-Induced Defects and Amorphization in Zircon. **J. Mater. Res.**, Pittsburgh, v.5, p. 2687-2697, 1990.

WEBER, W. J. Models and Mechanisms of Irradiation-induced Amorphization in Ceramics. **Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.**, Amsterdam, v. B 166-167, p.98-106, 2000.

WILLIAMS, J. S. Materials modification with Ion Beams. **Rep. Prog. Phys** , v. 49, p.491-587, 1986.

**Endereço para correspondência:**

Profa. Lucia Mozzaquatro  
Dr. Bozano, 915/403  
Santa Maria - RS  
CEP: 97015-003