

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

CRISTIANO LAGES CARLUCCI
Pesquisador Associado

Prof. Dr. HUGO M. S. OSHIMA
Pesquisador Responsável

***AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO ENTRE INFRA-
ESTRUTURA DE ZIRCÔNIA E CERÂMICA DE COBERTURA
COMPARADO COM UM SISTEMA METALO-CERÂMICO***

Porto Alegre

2008

***AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO ENTRE INFRA-
ESTRUTURA DE ZIRCÔNIA E CERÂMICA DE COBERTURA
COMPARADO COM UM SISTEMA METALO-CERÂMICO***

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração em Materiais Dentários, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C286a Carlucci, Cristiano Lages
Avaliação da resistência de união entre infra-
estrutura de zircônia e cerâmica de cobertura
comparado com um sistema metalo-cerâmico / Cristiano
Lages Carlucci. – Porto Alegre, 2008.
63 f.

Diss. (Mestrado em Odontologia) – Fac. de
Odontologia, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Mitsuo Silva Oshima

1. Odontologia. 2. Resistência dos Materiais
(Odontologia). 3. Matérias Dentários. 4. Cerâmica
Dentária. I. Oshima, Hugo Mitsuo Silva. II. Título.

CDD 617.695

Bibliotecária Responsável: Salete Maria Sartori, CRB 10/1363

CRISTIANO CARLUCCI

***AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO ENTRE INFRA-
ESTRUTURA DE ZIRCÔNIA E CERÂMICA DE COBERTURA
COMPARADO COM UM SISTEMA METALO-CERÂMICO***

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração em Materiais Dentários, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em _____ de _____ de 2008.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Hugo Mitsuo Silva Oshima

Prof. Dr. Edson Medeiros de Araújo Júnior

Prof. Dr. Luiz Henrique Burnett Júnior

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais por serem meus melhores amigos, colegas de trabalho e verdadeiros incentivadores de meu caminho e minha vida.

Dedico também aos colegas que desafiam a odontologia como ciência.

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido pai, meu colega de tantas batalhas e desafios diários, por sua vida dedicada a esta profissão. Profissional exemplo que se dedica à fazer uma odontologia extremamente qualificada movida pela paixão e pela arte de fazer o melhor.

A minha namorada, aos meus familiares e amigos pela compreensão e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hugo Mitsuo Silva Oshima pela confiança e longa amizade.

A todos os professores da disciplina de Materiais Dentários da PUCRS- Prof. Dr. Eduardo Gonçalves Mota e Prof. Dra. Luciana Mayumi Hirata pelos ensinamentos durante o curso e ótimo convívio durante estes 2 anos.

À Prof. Dr. Ana Maria Spohr pela contribuição a este trabalho.

Aos colegas de Mestrado Álvaro, Joaquim, Fernanda e Lucas pelo prazeroso convívio; pela contribuição e troca de conhecimento; e pela grande amizade que se formou. no decorrer deste período.

À Faculdade de Odontologia da PUC, na pessoa de seu diretor Prof. Dr. Marcos Túlio Mazzini Carvalho, bem como a coordenação da Pós-graduação, na pessoa da Prof. Dra. Nilza Pereira da Costa e Prof. Dr. José Poli Figueiredo, pela oportunidade.

Aos funcionários da Pós-graduação Ana, Carlos, Davenir e Marcos, pela sua atenção e auxílio.

A empresa Nobel Biocare pelo apoio e disponibilidade recursos.

Aos laboratórios Knebel e Dell'Art dental pela parceria e amizade.

A todas as pessoas que fazem parte da minha vida, que de certa forma contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

RESUMO

O objetivo deste estudo *in vitro* foi avaliar a resistência de união entre infra-estrutura de zircônia e cerâmica de cobertura de um sistema livre de metal comparado com um sistema metalo-cerâmico. Para isso, foram confeccionados 40 blocos de zircônia (Procera Zirconia), onde 32 não possuíam cor e 8 possuíam cor A2) e 8 blocos metálicos (liga Viron 99), todos nas dimensões (10 x 10 x 2 mm). As amostras de zircônia foram divididas em 5 grupos (8 em cada), e receberam diferentes tratamentos: Grupo 1 (zircônia s/ cor): aplicação da dentina; Grupo 2 (zircônia c/ cor): aplicação da dentina; Grupo 3 (zircônia s/ cor): aplicação do liner + dentina; Grupo 4 (zircônia s/ cor): aplicação do liner + dentina na superfície interna; Grupo 5 (zircônia s/ cor): desgaste com broca diamantada + liner + dentina. Como Grupo Controle: metalo-cerâmica (viron 99 + IPS Dsign dentina A2). Após sinterização das cerâmicas de acordo com o fabricante, as amostras foram submetidas ao teste de resistência ao cisalhamento realizados em máquina de ensaios EMIC DL 2000, onde os resultados foram obtidos em MPa. Através de fotografias e de MEV com magnitude de 37X, 200X e 2000X foi verificado o tipo de falha que ocorreu na interface infra-estrutura e cerâmica de cobertura. Ao submeter os resultados ao teste ANOVA, foi possível observar que houve diferenças estatisticamente significantes entre os grupos ($p=0,000$). De acordo com teste de Tukey, o grupo controle obteve os maiores valores de resistência de união, estatisticamente diferente ($p<0,05$) aos demais grupos de zircônia. Os grupos de zircônia não apresentaram diferença estatística entre si ($p>0,05$). O grupo 2 apresentou a maior média entre os grupos de zircônia e o grupo 4 apresentou a menor média de todos os grupos testados. As falhas encontradas na interface foram 100% mistas em todas amostras e apenas 1 amostra do grupo 2 constatou-se falhas coesivas na infra-estrutura de zircônia. Concluiu-se que o grupo controle mostrou uma resistência de união aproximadamente 50% maior que todos os grupos de zircônia testados.

ABSTRACT

The aim of this *in vitro* study was to evaluate the bond strength interface between the veneering and core zirconia ceramic of a system metal free compared to metal-ceramic system. For this, 40 blocks were made of zirconia (Procera Zirconia), where 32 without color and 8 color have A2) and 8 blocks of metal (alloy Viron 99), all the dimensions (10 x 10 x 2 mm). Samples of zirconia were divided into 5 groups (8 each), and received different preparations: Group 1 (zirconia without color): application of the dentin; Group 2 (zirconia A2 color): application of the dentin; Group 3 (zirconia without color): application of liner + dentin; Group 4 (zirconia without color): application of dentin + liner on the inner surface; Group 5 (zirconia without color): wear diamond drill + liner + dentin. As a control group: metal-ceramic (IPS Dsign Viron 99 + dentin A2). After sintering of ceramics according to the manufacturer, the samples were subjected to analysis of shear strength tests performed on machine EMIC DL 2000, where results were obtained in MPa. Through photographs and SEM with magnitude of 37X, 200X and 2000X as the type of failure that occurred at the interface core and veneering ceramic. When submitting the results to the ANOVA, it was possible to observe that there were statistically significant differences between groups ($p=0,000$). According to Tukey's test, the control group had the highest values of tensile bond strength, statistically different ($P<0.05$) than other groups of zirconia. The groups of zirconia showed no statistical difference between them ($p>0.05$). Group 2 had the highest average among the zirconia and group 4 had the lowest average of all groups. The flaws found in the joint interface were 100% in all samples and only 1 sample of group 2 it was cohesive failures in the core of zirconia. It was concluded that the control group showed a tensile bond strength approximately 50% higher than all groups of zirconia tested.

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1** –
Sistemas Cerâmicos utilizados na pesquisa.
- TABELA 2** –
Definição dos grupos testados.
- TABELA 3** –
Resultados do teste de cisalhamento (MPa).
- TABELA 4** –
Resultado da Análise de Variância.
- TABELA 5** –
Médias seguidas de letras distintas diferem entre si em nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.
- TABELA 6**.....
Interpretação do grau de fratura de cada corpo de prova.
- TABELA 7**.....
Alguns óxidos responsáveis por algumas cores dos sistemas cerâmicos.
(Yamamoto, 1985).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.....

Desenho esquemático da infra-estrutura(cinza) e cerâmica de cobertura (amarelo).

FIGURA 2.....

Matriz de alumínio utilizada para padronizar aplicação cerâmica

FIGURA 3.....

- A. Base da matriz de alumínio;
- B. Posicionamento da infra-estrutura de zircônia na matriz;
- C. Fechamento da parte superior da matriz;
- D. Espátula e condensador;
- E. Mistura da massa cerâmica;
- F. Aplicação da massa;
- G. Condensação;
- H. Remoção da matriz.

FIGURA 4.....

- A. Infra-estrutura metálica(lixa 220);
- B. Após jateamento com óxido de alumínio;
- C. Sinterização do opaco primeira camada;
- D. Sinterização da segunda camada do opaco;
- E. Sinterização da massa de dentina.

FIGURA 5.....

- A. Aspecto brilhante da superfície da infra-estrutura;
- B. Aplicação da massa de dentina;
- C. Sinterização da massa de dentina.

FIGURA 6.....

- A. Superfície externa da infra-estrutura com cor;
- B. Sinterização da massa de dentina diretamente sobre a infra-estrutura.

FIGURA 7

- A. Aplicação do liner;
- B. Sinterização do liner;

- C. Aplicação da massa de dentina;
- D. Sinterização da massa de dentina.

FIGURA 8

- A. Superfície interna da infra-estrutura;
- B. Sinterização do liner;
- C. Sinterização da massa de dentina.

FIGURA 9

- A. Infra-estrutura com superfície rugosa devido ao desgaste realizado com broca diamantada em alta rotação sob refrigeração de água diamantada;
- B. Sinterização do liner;
- C. Sinterização da massa de dentina.

FIGURA 10

Inclusão das amostras nos canos de PVC.

- A. Grupo Controle
- B. Grupo 1
- C. Grupo 2
- D. Grupo 3
- E. Grupo 4
- F. Grupo 5

FIGURA 11

Desenho esquemático do teste de cisalhamento que foi realizado na linha de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura.

FIGURA 12

- A. Máquina de teste EMIC DL 2000;
- B. Cinzel de cisalhamento com corpo de prova posicionado.

FIGURA 13

Desenho esquemático mostrando os tipos de fratura.

FIGURA 14

Gabarito utilizado para classificar o grau de comprometimento da fratura mista , onde há um aumento na falha adesiva e uma diminuição na falha coesiva da cerâmica de cobertura.

FIGURA 15

Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à fratura (MPa), nos diferentes grupos.

FIGURA 16

Fotografia e microscopia da superfície externa da zircônia (magnificação 2000X).

FIGURA 17

Fotografia e microscopia da superfície interna da zircônia (magnificação 2000X).

FIGURA 18

Fotografia e microscopia da superfície externa da zircônia após desgaste com ponta diamantada (magnificação 2000X).

FIGURA 19

Fotografia e microscopia da superfície externa da liga metálica após jateamento com óxido de alumínio (magnificação 2000X).

FIGURA 20

- A. Imagem referente a uma amostra do grupo 2 (zircônia com cor). Observa-se praticamente a mesma qualidade de imagem da fotografia, pós cisalhamento;
- B. Quando comparada com a microscopia numa magnitude de 38x.
- C. Analisando em um maior aumento (200x), observa-se uma interação da cerâmica de cobertura com a superfície da zircônia.

FIGURA 21

- A. Imagem microscópica referente a uma amostra do Grupo 4 (magnificação 39X).
 - a. Imagem microscópica referente a uma amostra do Grupo 4 (magnificação 200X).
 - B. Imagem microscópica referente a uma amostra do grupo controle (magnificação 37X).
 - b. Imagem microscópica referente a uma amostra do grupo controle (magnificação 200X). Notase-se padrão de fratura muito idêntico entre os dois grupos.

FIGURA 22

Imagens microscópicas (magnificação 200X) referentes a transição entre infra-estrututa e cerâmica de cobertura pós fratura.

A. Grupo 1

B. Grupo 2

C. Grupo 3

D. Grupo 4

E. Grupo 5

F. Grupo Controle

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

<	menor que
=	igual a
>	maior que
°	graus
°C	graus Celsius
CTE	Coeficiente de Expansão Térmica
µm	micrômetro
ANOVA	Análise de Variância
et al.	Abreviatura de et alli (e outros)
mbar	unidade de pressão
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Min	minuto
mm	milímetro
mm/min	milímetros por minuto
mm ²	milímetros quadrados
MPa	mega Pascal
mW/cm ²	miliwatt por centímetro quadrado
N	Newton
R.P.M.	Rotações por minuto
rpm	rotações por minuto
s	segundos
Y ₂ O ₃	Óxido de Ítrio,
ZrO ₂	Óxido de Zircônia
Y-TZP	Zircônia Tetragonal Policristalina Estabilizada por Ítrio

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
	3.1 ESTRUTURA DE ZIRCÔNIA.....	18
	3.2 SISTEMAS CERÂMICOS.....	19
4	MATERIAIS E MÉTODO.....	25
	4.1 MATERIAIS.....	25
	4.2 DIVISÃO DOS GRUPO.....	26
	4.3 PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	27
	4.4 APLICAÇÃO CERÂMICA.....	28
	4.5 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	29
	4.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FRATURA.....	36
	4.7 ANÁLISE DOS TIPOS DE FALHAS.....	37
	4.8 DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE FRATURA.....	38
	4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	40
5	RESULTADOS.....	41
	5.1 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	41
	5.2 PADRÃO DE FRATURA.....	44
	5.3 FOTOGRAFIAS E MICROSCOPIAS.....	45
6	DISCUSSÃO.....	48
7	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS*.....	58
	ANEXOS.....	61

1. INTRODUÇÃO

Fabricantes investem milhões de dólares em novos sistemas cerâmicos livres de infra-estruturas metálicas. Buscam, através de pesquisas, desenvolver infra-estruturas “brancas”, afim de melhorar as propriedades ópticas deste tipo de restauração, e aumentar, assim, o mimetismo com a estrutura dental.

Entretanto, é muito importante salientar que quando é realizada uma reabilitação com trabalhos restauradores que vão substituir a estrutura dental perdida, deve-se levar em consideração, além das propriedades ópticas, as propriedades físicas e mecânicas destes materiais.

As pesquisas têm avaliado a resistência dessas infra-estruturas devido a grande carga a qual são submetidas as cerâmicas odontológicas no meio bucal (TINSCHERT et al., 2000; GUAZZATO et al., 2004; PALLIS et al., 2004). Portiket et al., em 2004, compararam a resistência à fratura de diferentes sistemas cerâmicos livres de metal com um grupo controle metalo-cerâmico e observaram que não havia diferença significativa entre os grupos comparados.

As antigas e consagradas restaurações metalo-cerâmicas são ainda os sistemas com maior respaldo científico, e são de extrema importância para que possamos compreender como funcionam os mecanismos de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura (YAMAMOTO, 1985; WATAHA et al., 2002; ÇIFTÇI et al., 2007). São restaurações de extrema resistência à fratura devido a existência de uma infra-estrutura metálica (SHILLINGBURG, 1997).

Yamamoto, em 1985, afirmou que a união entre cerâmica e metal é essencial para um bom funcionamento do sistema metalo-cerâmico. Este mecanismo de união deve ser estável para que o sistema resista às forças ao qual são submetidos. Aponta ainda que existem três tipos de força de união nestes sistemas: união química, união mecânica e união por compressão.

Outro fator importante é o tipo de tratamento realizado na superfície da infra-estrutura. Este tratamento auxilia no aumento da força de união (mecânica) com a cerâmica de cobertura. Borges et al., em 2003, constaram que as infra-estruturas a base de óxido de alumínio e óxido de zircônio não sofrem alteração significativa em

sua estrutura quando jateadas com óxido de alumínio $50\mu\text{m}$ (tratamento realizado para modificar a superfície interna das infra-estruturas metálicas, tornando-as mais micro-retentivas).

Al-dohan et al., em 2004, compararam a união entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura de diferentes sistemas livre de metal. Tendo como controle restaurações metalo-cerâmica, apontaram que não haviam diferenças significativas entre os diversos sistemas cerâmicos livres de metal com o grupo controle.

Schweitzer et al., em 2005, verificaram em seu trabalho que sistemas cerâmicos de diferentes resistências flexurais podem apresentar comportamento idênticos quando possuem a mesma força de união à infra-estruturas metálicas.

Guess et al. recentemente, em 2008, compararam diferentes sistemas cerâmicos que possuem infra-estruturas em zircônia, com um grupo controle metalo-cerâmico. Observaram que a termociclagem não alterou a união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura entre todos os sistemas testados. Ressaltaram que os sistemas livres de metal apresentaram resistência de união semelhantes entre si, porém quando comparado aos sistemas metalo-cerâmicos se mostraram bastante inferiores, aproximadamente 50% menor.

Esta pesquisa foi realizada no intuito de avaliar um novo sistema cerâmico a base de zircônia. A resistência de união entre cerâmica de cobertura e a infra-estrutura de zircônia é pouco conhecida. Devido há relatos clínicos de colegas, nada fundamentados, ao qual estão havendo fratura da cerâmica de cobertura em lascas e em pequenos pedaços e há ausência de estudos clínicos (de longo prazo) na literatura; é interessante avaliar à resistência de união destes novos sistemas.

2. OBJETIVO

Comparar a resistência de união entre infra-estrutura de zircônia e cerâmica de cobertura de um sistema cerâmico *metal-free*, com a resistência de união das próteses metalo-cerâmicas e avaliar o modo de falha com auxílio de fotografias e microscopia eletrônica de varredura.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ESTRUTURA DE ZIRCÔNIA

O controle da síntese de pós e das diversas etapas de processamento pode conduzir a cerâmica com altas densidades e tamanhos de grãos variados. As características microestruturais das cerâmicas sinterizadas dependem de vários fatores como: aglomeração das partículas, distribuição de tamanho de poros, impurezas e tratamentos térmicos de sinterização (TADOKORO et al., 2000).

Na confecção da zircônia, o refinamento do pó é de extrema importância para eliminar qualquer impureza que possa gerar alguma falha estrutural nas características finais dos produtos cerâmicos. Alguns autores já constataram a influência da contaminação, particularmente superficial, nas propriedades finais de vários materiais cerâmicos. Gouvêa et al., em (2002), mostraram diferentes técnicas para realizar a limpeza dos pós cerâmicos, salientando que o processo mais utilizado é lavagem com água deionizada. As lavagens foram mais eficientes proporcionando a limpeza da superfície do ZrO_2 . A análise do comportamento eletrocinético também revelou que as lavagens introduzem alterações superficiais significativas.

A zircônia de fase estabilizada vem sendo a grande alternativa para substituir as estruturas de alumina devido a sua grande resistência a fratura. O óxido de zircônio puro não pode ser usado para formulários cerâmicos fabricados sem estabilizadores. O papel destes estabilizadores é reter a fase de alta temperatura, tetragonal, na temperatura ambiente, que dá à zircônia suas propriedades desejáveis de alta resistência. Ítrio é bastante utilizado como estabilizador em próteses ortopédicas. Sabe-se que o ítrio utilizado na composição de cerâmica de fase estabilizada pode se desestabilizar durante o processo de esterilização pelo vapor, devido à transformação hidrotérmica que sofre (DE AZA et al., 2002).

De Aza et al., em 2002, também relatam que dois tipos de materiais podem ser preparados neste sistema: a matriz de zircônia estabilizada reforçada com partículas de alumina (ATZ- zircônia reforçada por alumina) ou a matriz de alumina

reforçada por partículas de zircônia (ZTA- alumina reforçada por zircônia). É relatado na literatura problemas relacionados a estabilização hidrotérmica na matriz de zircônia (ATZ), pois necessita do Ítrio para estabilizar a zircônia. No caso da matriz de alumina (ZTA), não há necessidade do ítrio, pois a matriz de alumina age confinando as partículas de zircônia, retendo-a de maneira estável na forma tetragonal, conferindo assim resistência ao material.

A zircônia tetragonal estabilizada por ítrio (Y_2O_3) é um material de grande resistência e vem sendo utilizado para confecção de infra-estruturas em sistemas cerâmicos livres de metal. Xin Guo et al., em 2004, avaliaram em seu trabalho a incorporação de água a este tipo de estrutura. Constataram que a ZrO_2 tetragonal sofre uma transformação em sua estrutura na presença de água ou vapor de água em temperaturas que variam de (65°-400°C). Este fenômeno é chamado de degradação hidrotérmica. Esta degradação pode gerar a longo prazo micro-trincas na estrutura de zircônia e aumento do seu peso. Porém existe um limite de saturação para incorporação de água em determinadas temperaturas, dependendo da pressão do vapor de água.

3.2 SISTEMAS CERÂMICOS

Pallis et al. (2004) submeteram diferentes tipos de sistemas cerâmicos à fratura, levando em consideração não somente a resistência à fratura propriamente dita do material, mas também a geometria protética da coroa e a linha de cimentação de cada sistema cerâmico. Para realizar este estudo *in vitro* confeccionaram coroas cerâmicas de 3 sistemas diferentes: IPs Empress 2, In-Ceran Zircônia e Procera Alumina. Constataram que não houve diferença significativa entre os três sistemas testados, mas que o In-Ceram Zirconia apresentou a maior resistência à fratura e a menor variação nos resultados de fratura quando comparado com os demais sistemas.

Potiket et al. (2004) propuseram em seu estudo avaliar a resistência à fratura de coroas totais Procera Alumina e Procera Zircônia com um grupo controle metalocerâmico. Neste trabalho avaliaram coroas de Procera Alumina de 0.4mm e 0.6mm e coroas de Procera Zircônia de 0.6mm. Para isso, foram preparados incisivos centrais

superiores e cimentados adesivamente com o cimento Panavia 21, inclusive o grupo controle. Estas coroas foram então submetidas a teste de resistência à fratura após serem armazenadas em solução salina durante 7 dias. Não foram observadas diferenças significantes de resistência à fratura entre os grupos testados, e todos os espécimes apresentaram o mesmo tipo de falha: fratura do remanescente dental (classificação de Burke tipo V), ou seja, não houve fratura da coroa cerâmica, ela permaneceu intacta em todos os espécimes testados.

Y-TZP (Zirconia Estabilizada por Ítrio) prove uma grande resistência mecânica para ser utilizada em infra-estruturas de próteses livres de metal. Fisher et al. (2008) avaliaram a resistência à fratura de diferentes sistemas cerâmicos utilizados para cobrir infra-estruturas de zircônia. Para isso, utilizaram teste de três pontos, teste de quatro pontos e teste biaxial para medir a resistência flexural até a falha das cerâmicas de cobertura. Compararam, então, dez cerâmicas feldspáticas diferentes para utilizar sobre a infra-estrutura de zirconia e três cerâmicas feldspáticas sobre infra-estrutura metálica. Observaram que os valores nos testes de quatro pontos foram significativamente menores quando comparados com os valores obtidos nos testes de três pontos para todos os sistemas testados. Entretanto, de uma maneira geral, as cerâmicas de cobertura para Zircônia apresentaram um comportamento similar às cerâmicas de cobertura dos sistemas metalo-cerâmicos.

Tinschert et al. (2000) testaram seis sistemas cerâmicos para confecção de infra-estrutura e dois tipos de cerâmicas feldspáticas para cobertura. Para testes de resistência à fratura utilizou o teste de 4 pontos e para fazer a análise de fratura avaliando as probabilidades de falha utilizou o *Weibull Modulus*. Obtiveram resultados significativos bastante altos para a Zircônia-TZP (936.7 MPa) resistência à fratura contra o In-Ceram Alumina (463.8 MPa) e Empress (88.7 MPa). Este último mostrou resultado similar às cerâmicas feldspáticas de cobertura Vita VMK 68 (87.0 MPa) e Vitadur Alpha Dentina (63.3 MPa). Em relação ao Módulo de *Weibull*, a Zirconia e o Cerec Mark II obtiveram resultados acima de 18, ressaltando que estes sistemas são os únicos que apresentam tecnologia CAD-CAM e, provavelmente, possuem menos defeitos de superfícies (bolhas e porosidades) que possam estar presente nos demais sistemas.

Guazzato et al. (2004) testaram em seu trabalho a resistência flexural da estrutura de zircônia e a resistência flexural da estrutura de zircônia coberta por uma

cerâmica feldspática de cobertura. Para realizar o trabalho utilizaram o teste flexural biaxial (*piston on three-ball*) para calcular a máxima carga até a falha. Interessante que aplicaram a carga somente sobre a estrutura de zircônia (DZ), somente sobre a cerâmica de cobertura (VD), sobre a cerâmica de cobertura sustentada pela estrutura de zircônia (VD/DZ) e sobre a estrutura de zircônia tendo como base a cerâmica feldspática (DZ/VD). Obtiveram como resultado: DZ (1150MPa), VD/DZ (1470MPa), VD (95MPa) e DZ/VD (140MPa). Para analisar os resultados obtidos foram utilizados *Weibull modulus* e análise com elementos finitos. Constataram que a propagação da força dentro do corpo VD/DZ se dava de uma maneira muito mais homogênea, onde a maior concentração de força se localizava na base da infraestrutura; enquanto que no corpo DZ/VD houve uma resultante de força muito intensa no centro do corpo, ou seja, na união entre os dois materiais e na base da cerâmica feldspática.

Yilmaz et al. (2007) compararam as propriedades mecânicas de seis sistemas cerâmicos livres de metal utilizados como infra-estruturas. Para realizar este trabalho utilizaram testes de resistência à fratura, resistência flexural biaxial e módulo de Weibull. Os sistemas testados foram Finesse (F), Cergo (C), IPs Empress (E), In-Ceram Alumina (ICA), In-Ceram Zirconia (ICZ) e Cercon Zirconia (CZ). Como resultado (F): 88.04(31.61), $m=3.17$; (C): 94.97(13.62), $m=7.94$; (E): 101.18(13.49), $m=10.13$; (ICA): 341.80(61.13), $m=6.96$; (ICZ): 541.80(61.10), $m=10.17$; (CZ): 1140.89(121.33), $m=13.26$. Obtiveram como resultados diferenças significativas entre os grupos testados, onde pode-se observar que o Cercom (T-TZP zirconia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio), atingiu os melhores resultados sobre todos os aspectos testados, mostrando-se como o material para infra-estrutura mais resistente e mais previsível nos quesitos testados.

Chevalier et al. (1999) realizaram uma revisão de literatura sobre a propagação de fratura e a fadiga de compósitos a base de zircônia. Observaram, primeiro a "*slow crack growth*" (SCG) sob carga estática na zircônia que mostrou ser consequência do estresse de corrosão pelas moléculas de água na ponta das fissuras, levando à alteração da resistência destes materiais. Depois analisaram o SCG sob cargas cíclicas. A degradação mecânica dos diferentes sistemas de zircônia pesquisados é explicado pelo decréscimo da resistência à fadiga. Estas forças sob cargas cíclicas aumentam a velocidade de degradação da zircônia.

Itinoche et al. (2006) investigaram o efeito da termociclagem na resistência flexural biaxial de dois sistemas cerâmicos. Para realizar este trabalho utilizaram In-Ceram Zirconia e Procera Alumina. Observaram que o Procera Alumina apresentou maior resistência flexural com ou sem ciclo mecânico (647 ± 68 e 630 ± 43 MPa, respectivamente) comparado ao In-Ceram Zirconia (497 ± 35 e 458 ± 53 MPa, respectivamente). O ciclo mecânico com 20.000 vezes com uma carga de 50N diminuiu os valores de resistência flexural de ambos os sistemas cerâmicos testados, porém não foi estatisticamente significativo ($p < 0.05$). Interessante analisar que sistemas cerâmicos, tipo Procera, que são altamente compactados e posteriormente sinterizados com 99.5% de óxido de alumínio, apresentam resistência flexural significativamente maior quando comparado à sistemas compactados manualmente antes de sinterizar como o In-Ceram.

Al-Dohan et al. (2004) avaliaram a resistência de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura de quatro sistemas livres de metal. Os sistemas testados foram Procera Alumina com AllCeram, Procera Zirconia com Cerabien CZR, IPS-Empress 2 com Eris, DC-Zircon com Vita e como controle uma restauração metalocerâmica. A maior resistência flexural foi observada no IPS-Empress 2 com Eris (30.86 ± 6.47 MPa), seguidos de Procera Zirconia com Cerabien (28.03 ± 5.03 MPa), DC-Zircon com Vita (27.90 ± 4.79 MPa) e Procera Alumina com AllCeram (22.40 ± 2.40 MPa), não apresentando diferença significativa do grupo controle (30.16 ± 5.88). Somente no Empress 2/Eris apresentou falha coesiva na infra-estrutura. Já no Procera Alumina foi observado mais falha na interface infra-estrutura e cerâmica de cobertura e microscopicamente foi detectado remanescentes do opaco na infra-estrutura. Os sistemas de zircônia apresentaram falhas equilibradas, ou seja, metade falhas coesivas da cerâmica de cobertura e metade falha na interface de união entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura .

Guess et al. (2008) compararam a resistência de união entre a cerâmica de cobertura e a cerâmica de base de diferentes marcas comerciais de sistemas de zircônia, avaliando o efeito da termociclagem sobre a resistência de união. Para isso, foram utilizados três sistemas diferentes para realizar as infra-estruturas (Cercon Base, Vita In-Ceram YZ Cubes e DC-Zirkon); cada fabricante recomenda como cerâmica de cobertura de seu sistema (Cercon Ceram S, VITA VM9 e IPS e.max Ceram, respectivamente). Observaram que nenhum sistema apresentou diferença significativa antes e após termociclagem. O grupo controle metalo-

cerâmico (Degudent U94/Vita VM13) foi estatisticamente maior do que todos os sistemas a base de zirconia testados, os demais não apresentaram diferença estatística entre eles Cercon Base/ Cercon Ceram S (9.4 ± 3.2), In-Ceram YZ Cubes/ VITA VM9 (12.5 ± 3.2) e DC-Zirkon/ IPS e.max Ceram (11.5 ± 3.4). Cercon base/ Cercon Ceram S apresentaram combinado módulo de fratura: fratura coesiva na cerâmica de cobertura e adesiva com a cerâmica de base. DC Zirkon/ IPS e.max Ceram e VITA In-Ceram YZ Cubes/ VITA VM9 apresentaram predominantemente falha adesiva na interface entre cerâmica de base e cerâmica de cobertura.

Kim et al. (2005) analisaram a influência do tratamento de superfície de três tipos diferentes de *coping* cerâmico. Para isso, utilizaram Empress II, In-Ceram Alumina, Zi-Ceram e uma cerâmica feldspática como controle. No grupo que apenas foi jateado com óxido de alumínio 50 micras, tanto o Empress como a cerâmica feldspática apresentaram uma superfície rugosa, enquanto o In-Ceram e o Zi-Ceram apresentaram uma superfície mais aplainada. No grupo o qual se fez jateamento mais aplicação de ácido fluorídrico 4% durante 5 minutos, o Empress e a cerâmica feldspática aumentaram consideravelmente sua rugosidade de superfície em relação ao grupo anterior, enquanto não foi observado alterações microscópicas para os outros dois sistemas. No terceiro grupo foi realizado apenas tratamento com *silica coating*, observou-se uma rugosidade de superfície pequenas, porém regular e idêntica entre todos os sistemas testados. Ressaltaram que o único tratamento eficaz realizados em estruturas de óxido de zirconia e óxido de alumina foi o tratamento com *silica coating*. No caso do Empress e da cerâmica feldspática o tratamento com óxido de alumínio e ácido fluorídrico foi o mais eficaz.

Borges et al. (2003) testaram o efeito do condicionamento com ácido hidrofluorídrico (10%) e do jateamento de óxido de alumínio ($50\mu\text{m}$) sobre seis diferentes infra-estruturas cerâmicas com a proposta de avaliar a presença ou não de alteração da superfície topográfica destes sistemas. Para realizar este trabalho utilizaram os seguintes sistemas: IPS Empress, IPS Empress II, Cergogold, In-Ceram Alumina, In-Ceram Zircônia e Procera Alumina. Obtiveram como resultado que o jateamento com óxido de alumínio mudou morfologicamente a superfície dos sistemas cerâmicos IPS Empress, IPS Empress II e Cerangold produzindo irregularidade rasas, não havendo mudança alguma para o In-Ceram Alumina e In-Ceram Zircônia; enquanto que no Procera Alumina a superfície se tornou mais aplainada, ou seja, menos irregular diminuindo, assim, a micro-retenção após ser

jateada com o óxido de alumina. Os grupos que foram submetido ao condicionamento com ácido hidrófluorídrico 10%, notou-se apenas modificação morfológica no IPS Empress II, o qual se observam cristais alongados dispersados com irregularidades rasas; no IPS Empress e no Cerangold, que se observam uma característica morfológica de favos de mel na superfície da cerâmica. Os demais sistemas testados não apresentaram alteração morfológica nenhuma frente ao condicionamento ácido.

Del Barrio (2005) testou a resistência de união entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura de um sistema livre de metal com diferentes sistemas metalocerâmicos e diferentes ligas metálicas. Em seu trabalho utilizou o sistema de Óxido de Zircônio Pré-sinterizado (Cercon Smart Ceramics) como sistema livre de metal; duas ligas diferentes de níquel-cromo Ticonium (T-3 & B alloy) e Tilitite (Talladium) recobertas com a cerâmica Ceramco (Dentsplay); quatro ligas diferentes de titânio com marcas comerciais diferentes recobertas com a cerâmica Multimat Mach 3 (Dentsplay); e um liga de cromo-cobalto recoberta com a cerâmica Ceramco (Dentsplay). Como resultado obteve: as ligas a base de titânio (média \pm 26,18/ 29,16/ 37,49/ 30,74 MPa) apresentarão os piores resultados obtidos nos testes de cisalhamento, seguido das ligas de níquel-cromo (média \pm 40,16/ 40,32 MPa) e cromo-cobalto (média \pm 41,82 MPa) que não apresentaram diferença significativa entre si e os maiores resultados foram encontrados no sistema livre de metal *Cercon Smart Ceramics* (média \pm 47,82 MPa).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Neste estudo os materiais utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: *Sistemas cerâmicos utilizados na pesquisa.*

Nome do Produto	Descrição	Finalidade	Fabricante	Composição
Nobel Rondo Zircônia	CERÂMICA FELDSPÁTICA	CERÂMICA DE COBERTURA	Nobel Biocare	SiO ₂ Al ₂ O ₃ , ZnO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O, ZrO ₂ , CaO, P ₂ O ₅
IPs D.sign	CERÂMICA FELDSPÁTICA	CERÂMICA DE COBERTURA	Ivoclar Vivadent	SiO ₂ :50-65Wt.% Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O P ₂ O ₅ , F, Li ₂ O, ZrO ₂
Viron 99	LIGA METÁLICA Básica	INFRA- ESTRUTURA	Bego	Níquel-cromo
Procera Zircônia (Y-TZP)	CERÂMICA REFORÇADAS	INFRA- ESTRUTURA	Nobel Biocare	ZrO ₂ +Y ₂ O ₃ +HfO ₂ (>99%) (5%) (<5%) Al ₂ O ₃ (<0,5)

4.2 DIVISÃO DOS GRUPOS

Foram confeccionadas oito amostras de infra-estrutura para cada grupo e recobertas com a cerâmica feldspática, recomendada pelo fabricante, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Definição dos grupos a serem testados.

GRUPO	INFRA-ESTRUTURA	TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE DA INFRA-ESTRUTURA	APLICAÇÃO DE OPACO/LINER	COPING COLORIDO (DE ACORDO COM ESCALA VITA)	<i>Cerâmica de Cobertura</i>
Controle	Viron 99	Sim	Sim	Não	IPS Dsign
1	Procera Zircônia	Não	Não	Não	Nobel Rondo Zircônia
2	Procera Zircônia	Não	Não	Sim	Nobel Rondo Zircônia
3	Procera Zircônia	Não	Sim	Não	Nobel Rondo Zircônia
4	Procera Zircônia	Sim	Sim	Não	Nobel Rondo Zircônia
5	Procera Zircônia	Sim	Sim	Não	Nobel Rondo Zircônia

4.3 PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Todas as infra-estruturas foram padronizadas num formato retangular com 10mm² de lado por 2mm de espessura, e aplicadas cerâmicas num formato cilíndrico com 5mm de altura por 4mm de diâmetro (Figura 1.)

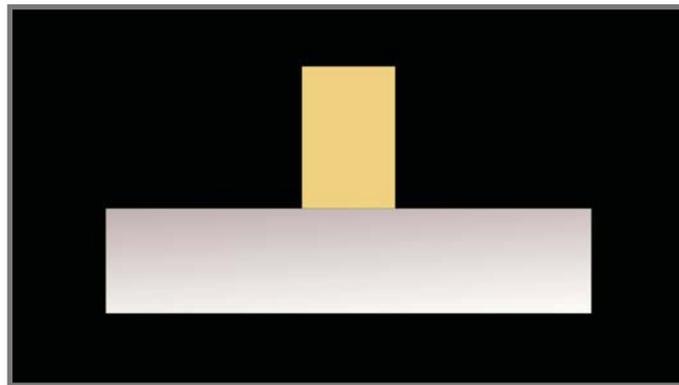


Figura 1: Desenho esquemático da infra-estrutura (cinza) e cerâmica de cobertura (amarelo).

Para padronizar a aplicação da cerâmica de cobertura sobre as infra-estruturas foi utilizado uma matriz metálica em alumínio. No centro desta matriz foi colocado um silicone de adição pesado (Silagun, DMG, Hamburgo, Alemanha) para facilitar um melhor assentamento das infra-estruturas em zircônia e em níquel-cromo (controle) durante a aplicação cerâmica (Figura 2).



Figura 2: Matriz de alumínio utilizada para padronizar aplicação cerâmica.

4.4 APLICAÇÃO CERÂMICA

A aplicação da cerâmica foi realizada manualmente, por um único operador, com o auxílio da matriz de alumínio, de uma espátula, de um condensador metálico e lenços de papel absorventes. Desta maneira, há uma simulação da aplicação cerâmica que é realizada no dia-a-dia nos laboratórios de prótese (Figura 3).

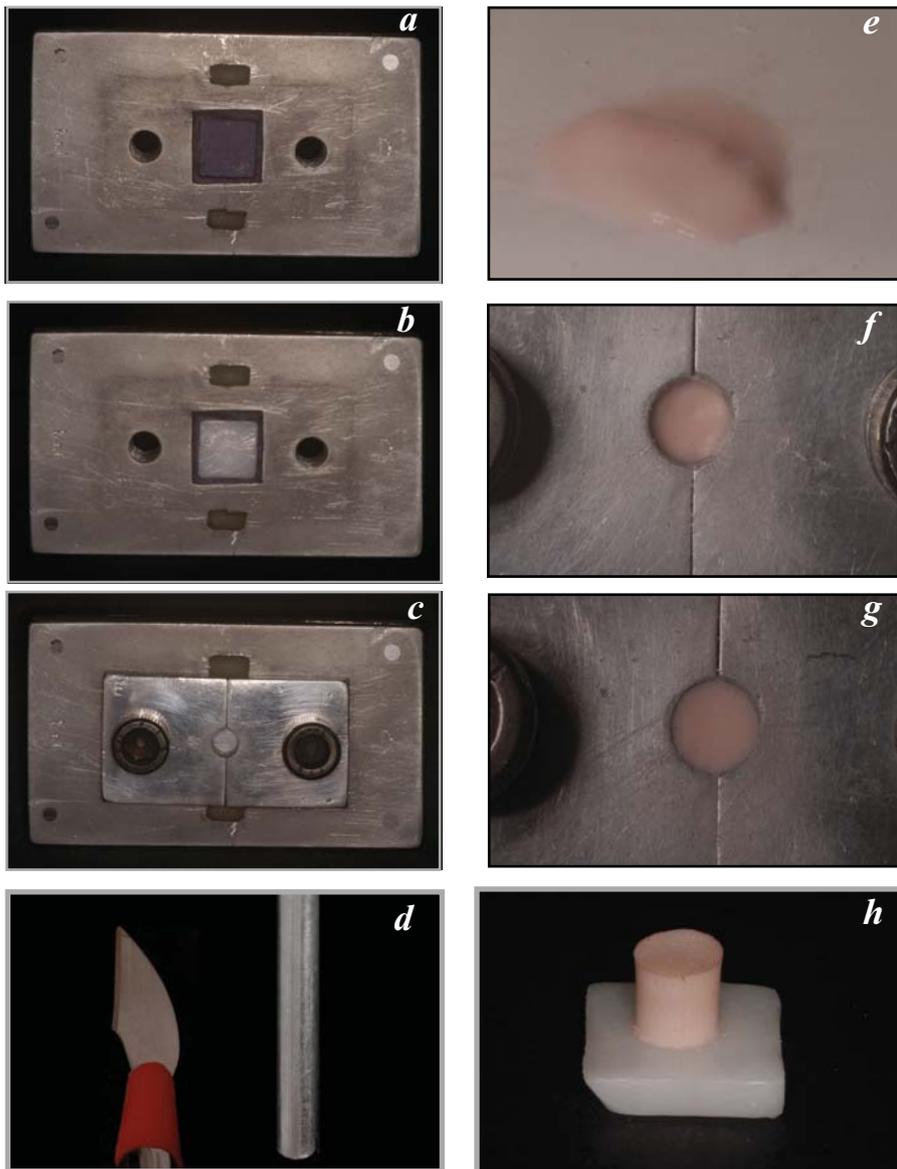


Figura 3: Base da matriz de alumínio (a); posicionamento da infra-estrutura de zircônia (b); fechamento da parte superior da matriz (c); espátula e condensador (d); mistura da massa cerâmica (e); aplicação da massa (f); condensação (g); e remoção da matriz (h).

4.5 PREPARO DAS AMOSTRAS

Grupo Controle – Metalo-cerâmica: através de uma matriz de silicone de adição (Silagun, DMG, Hamburgo, Alemanha) foi vertida cera (classic, renfert, Baden-Vurtemberg, Alemanha) para obter o padrão. Este padrão foi incluído em um revestimento (Talladium, Curitiba, PR, Brasil) e fundido em uma máquina de fundição (Bego, Bremen, Alemanha). Então cada espécime foi planificada com lixa d'água de granulação 220, jateado com óxido de alumínio (100 μ m) a uma distância de 10mm, limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Em seguida foi realizado o ciclo de oxidação da liga (de acordo com as recomendações do fabricante), seguido da aplicação da cerâmica: primeira camada de opaco (camada de união), após sinterização aplicação de uma segunda camada de opaco, e por último aplicação da massa de dentina com o auxílio de uma matriz metálica padronizada. Todos os ciclos de sinterização da cerâmica foram realizados de acordo com as temperaturas específicas fornecidas pelo fabricante.

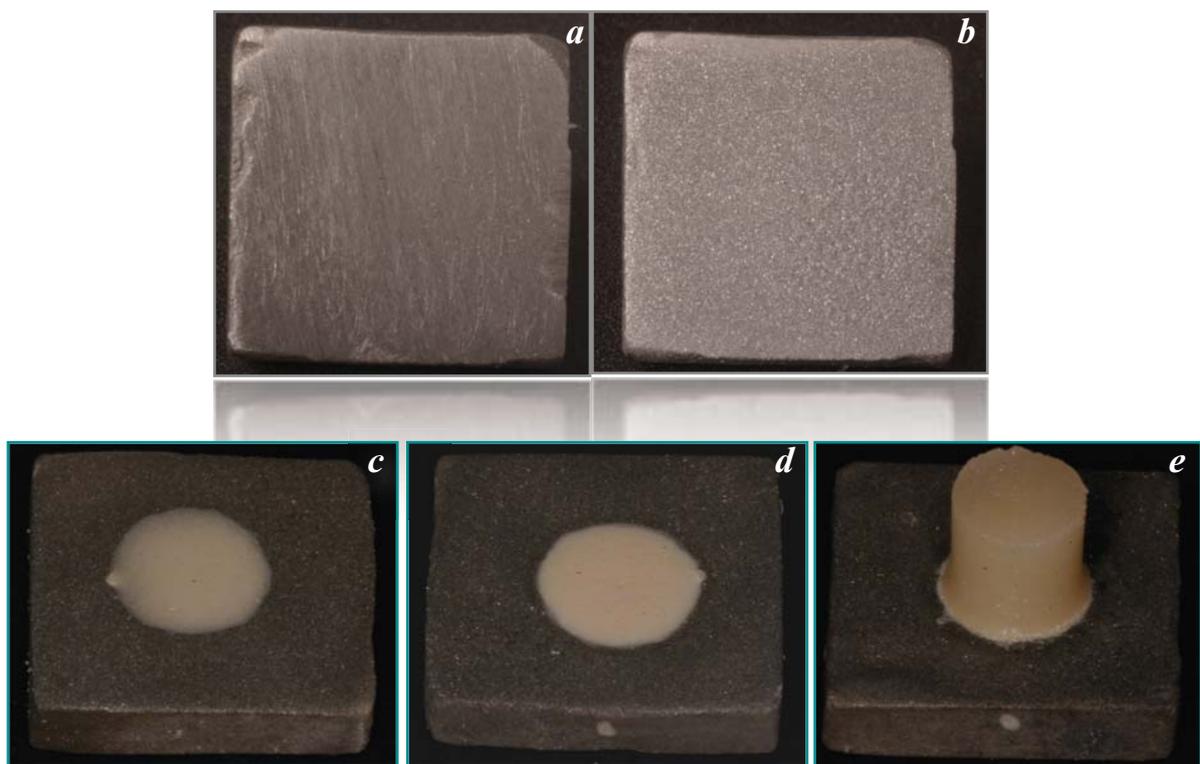


Figura 4: Infra-estrutura metálica (lixa 220) (a); após jateamento com óxido de alumínio (b); sinterização do opaco primeira camada (c); sinterização da segunda camada do opaco (d); e sinterização da massa de dentina (e).

Grupo 1 – Procera Zircônia: Através de uma matriz de silicone de adição (Silagun, DMG, Hamburgo, Alemanha) foi vertida cera (classic, renfert, Baden-Vurtemberg, Alemanha) para obter o padrão. Este padrão foi levado a uma *scanner* de toque (Procera Forte, Nobel Biocare, Gotemburgo, Suécia) para gerar uma imagem tridimensional virtual no computador, que foi enviada por e-mail para o centro de confecção de produção da Nobel Biocare (Gotemburgo, Suécia) onde foi produzido o espécime e enviado ao Brasil. Não foi realizado nenhum tratamento de superfície nas infra-estruturas, apenas foram limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Foi realizada, então, aplicação da cerâmica de dentina diretamente sobre a superfície da peça com o auxílio de uma matriz metálica padronizada. Todos os ciclos de sinterização da cerâmica foram realizados com as temperaturas específicas fornecidas pelo fabricante.

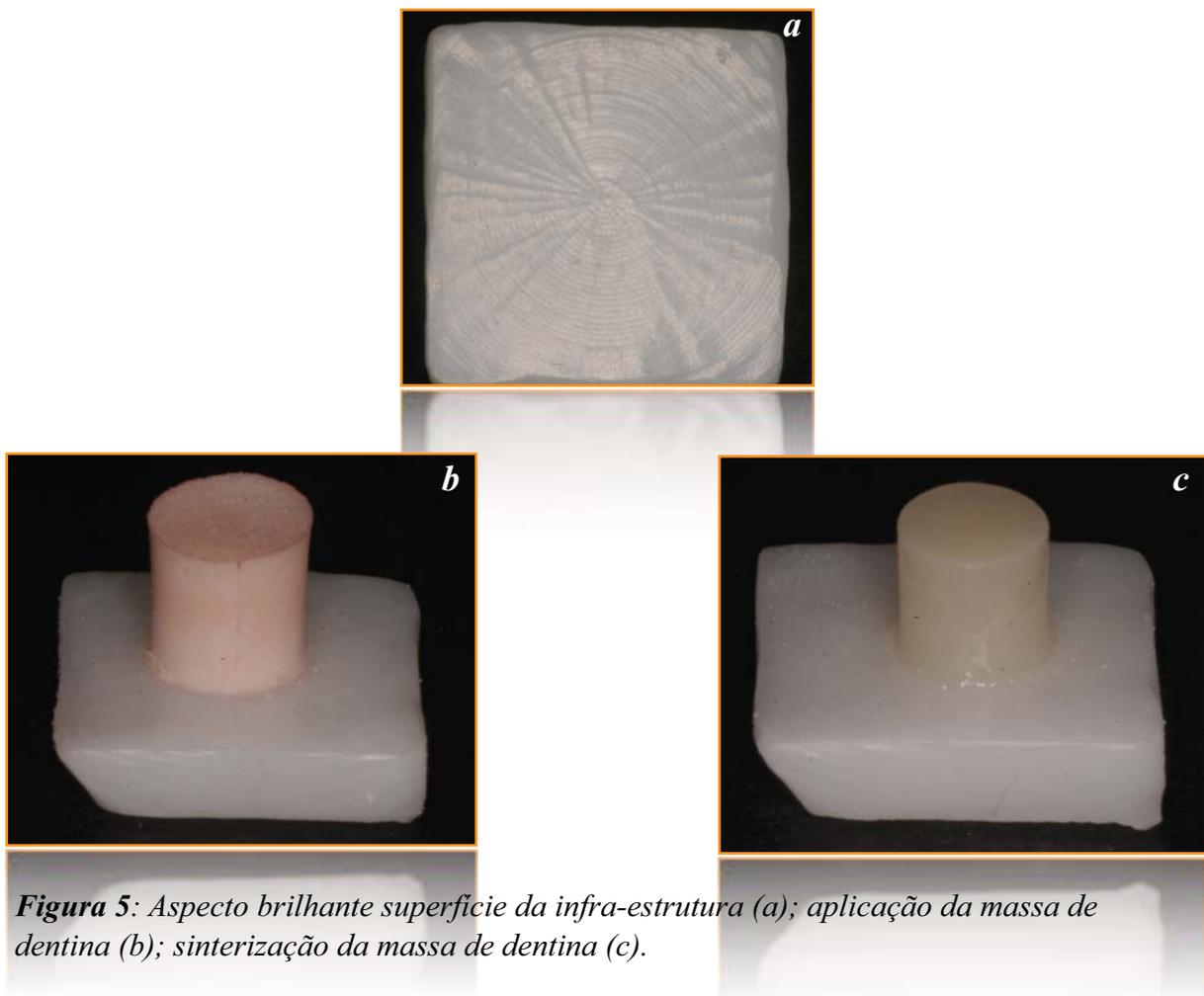


Figura 5: Aspecto brilhante superfície da infra-estrutura (a); aplicação da massa de dentina (b); sinterização da massa de dentina (c).

Grupo 2 – Procera Zircônia coping com cor: Para a obtenção da infra-estrutura Procera Zircônia foram realizados os mesmos procedimentos descritos no grupo 1. Entretanto, neste caso o fabricante envia diretamente de fábrica uma infra-estrutura com cor (disponível em 4 tonalidades diferentes: *standard, light, medium, intense*), cujo foi selecionada a cor *medium* (correspondente A2 escala vita). Não foi realizado nenhum tratamento de superfície nas infra-estruturas, apenas foram limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Foi realizada, então, aplicação da cerâmica de dentina diretamente sobre a superfície da peça com o auxílio de uma matriz metálica padronizada. Todos os ciclos de sinterização da cerâmica foram realizados com as temperaturas específicas fornecidas pelo fabricante.

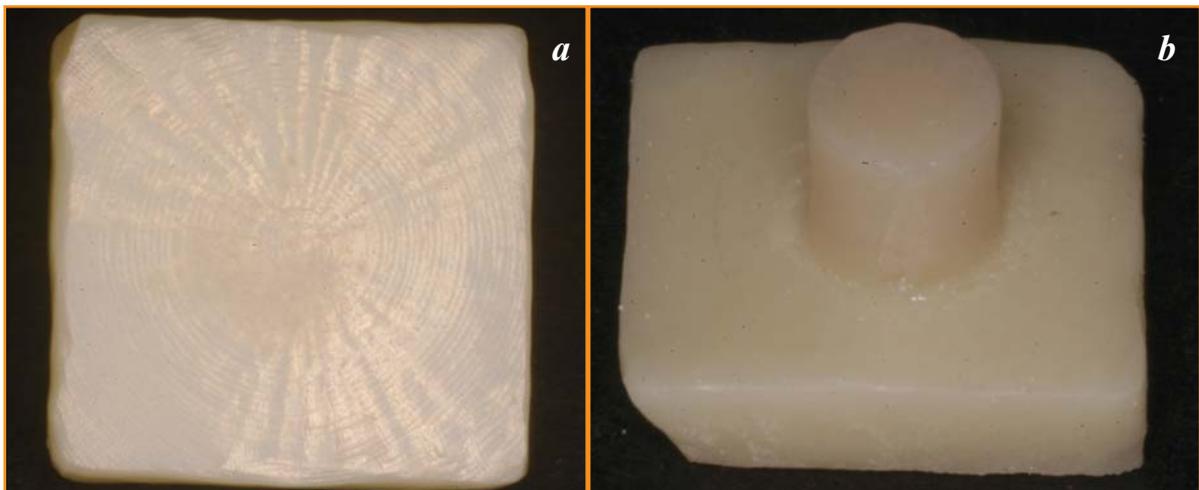


Figura 6: Superfície externa da infra-estrutura com cor(a); e sinterização da massa de dentina diretamente sobre a infra-estrutura (b).

Grupo 3 – Procera Zircônia: Para a obtenção da infra-estrutura Procera Zircônia foram realizados os mesmos procedimentos descritos no grupo 1. Não foi realizado nenhum tratamento de superfície nas infra-estruturas, apenas foram limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Em seguida, foi feita aplicação de uma fina camada de *liner* (um tipo de opaco deste sistema livre de metal). Após sinterizado foi aplicada a cerâmica de dentina com o auxílio da matriz metálica padronizada sobre a camada de *liner*. Todos os ciclos de sinterização da cerâmica foram realizados com as temperaturas específicas fornecidas pelo fabricante.

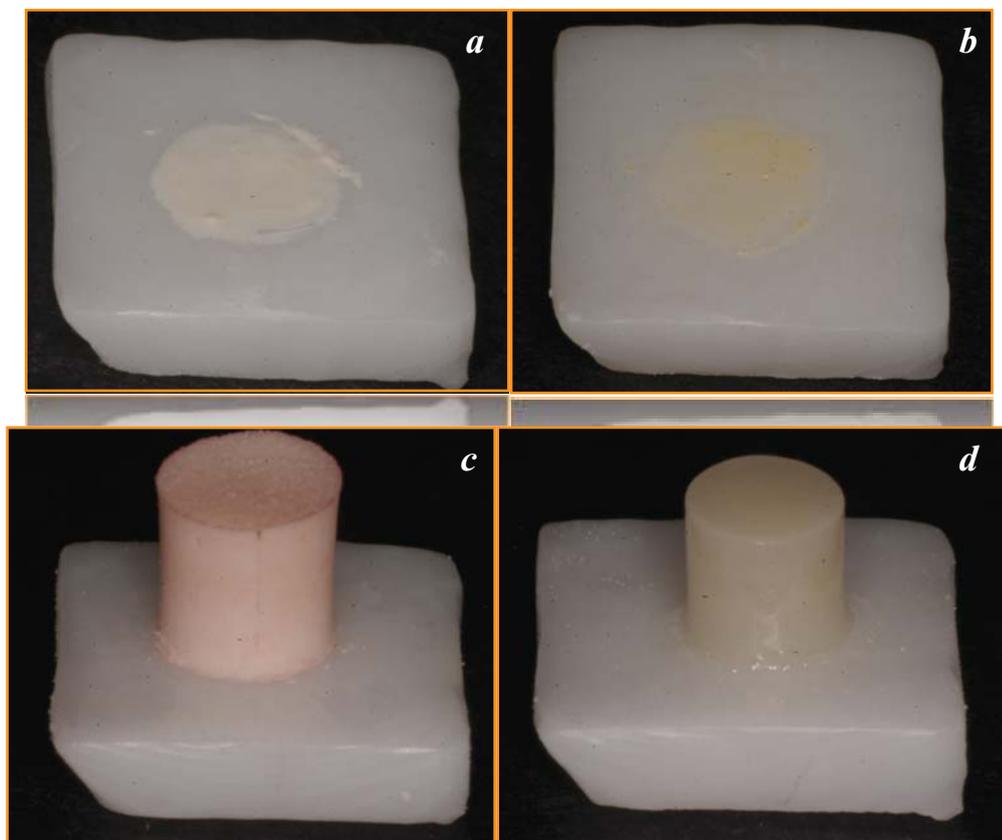


Figura 7: Aplicação do liner (a); sinterização do liner (b); aplicação da massa de dentina (c); e sinterização da massa de dentina (d).

Grupo 4 – Procera Zircônia (união com a superfície interna de infra-estrutura): Para a obtenção da infra-estrutura Procera Zircônia foram realizados os mesmos procedimentos descritos no grupo 1. Não foi realizado nenhum tratamento de superfície nas infra-estruturas, apenas foram limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Em seguida, foi feita aplicação de uma fina camada de *liner*. Após sinterizado foi aplicada a cerâmica de dentina com o auxílio da matriz metálica padronizada sobre a camada de *liner*. Neste grupo o *liner* e a cerâmica de cobertura foram aplicadas na superfície interna da infra-estrutura de zircônia. Esta superfície se apresenta com um aspecto rugoso e opaco, devido ao contato direto com o revestimento quando sinterizada.

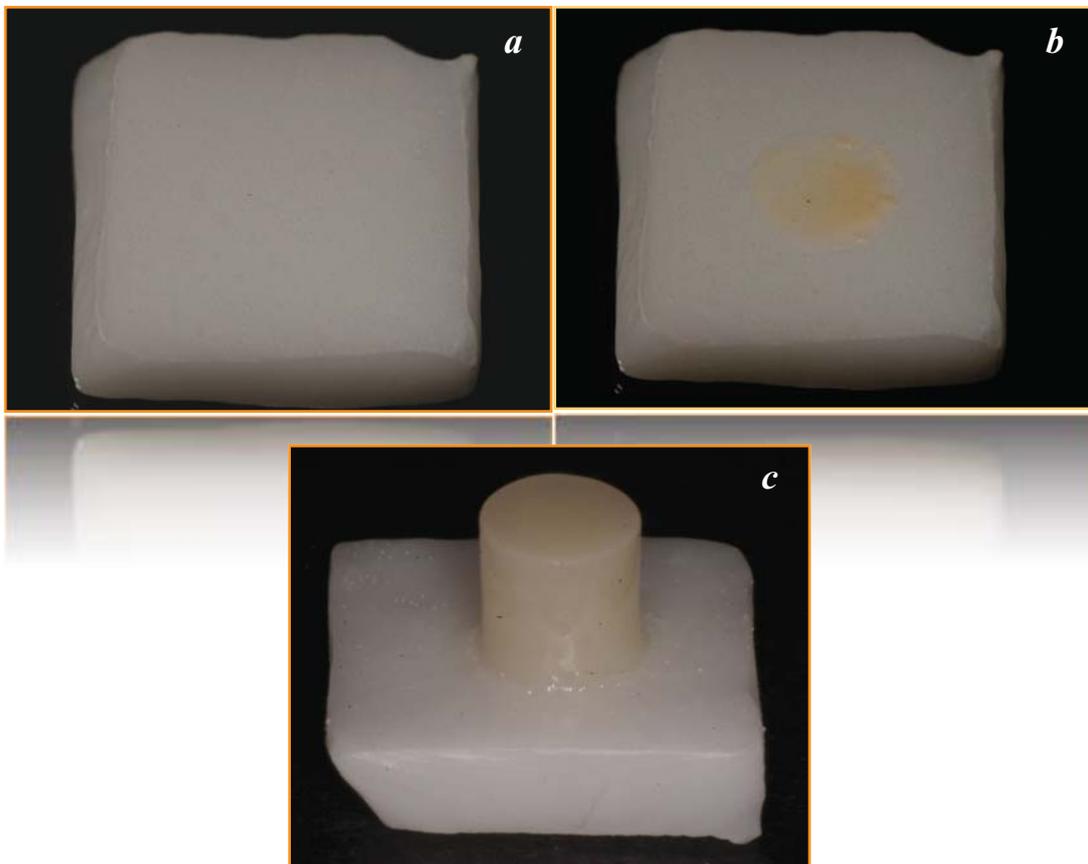


Figura 8: Superfície interna da infra-estrutura (a); sinterização do *liner* (b); e sinterização da massa de dentina (c).

Grupo 5 – Procera Zircônia (broca diamantada): Para a obtenção da infra-estrutura Procera Zircônia foram realizados os mesmos procedimentos descritos no grupo 1. Neste grupo foi realizado um desgaste superficial com uma broca diamantada (4138G, KG Sourens, São Paulo, Brasil) em alta rotação com refrigeração abundante de água para evitar aquecimento e para simular o ajuste manual feito nos *Copings Procera*. Em seguida, foram limpas com jato de vapor durante 15 segundos e secas com jato de ar por 10 segundos. Foi feito, então, a aplicação de uma fina camada de *liner*. Após sinterizado foi aplicada a cerâmica de dentina com o auxílio da matriz metálica padronizada sobre a camada de *liner*. Todos os ciclos de sinterização da cerâmica foram realizados com as temperaturas específicas fornecidas pelo fabricante.

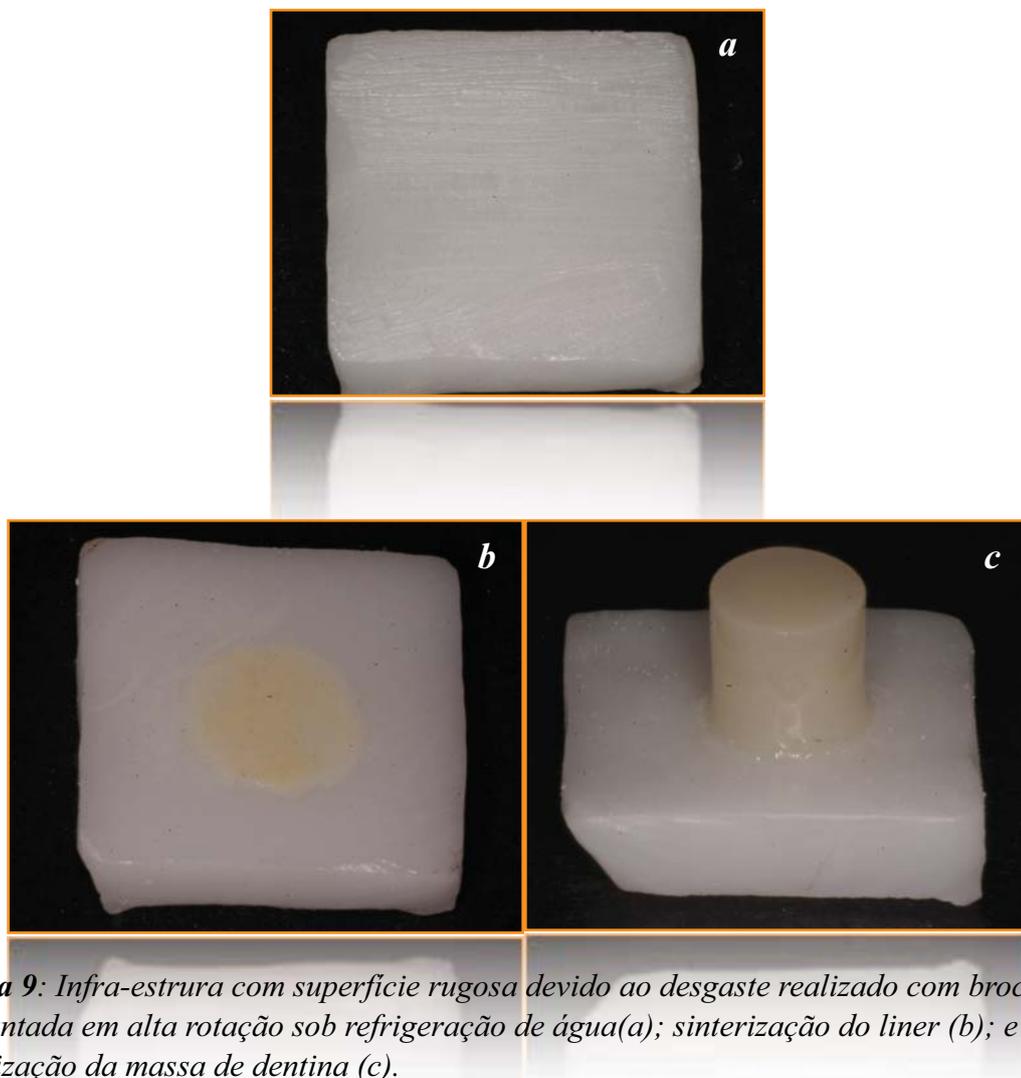


Figura 9: Infra-estrutura com superfície rugosa devido ao desgaste realizado com broca diamantada em alta rotação sob refrigeração de água(a); sinterização do liner (b); e sinterização da massa de dentina (c).

Concluída a sinterização de todas as peças cerâmicas, cada amostra foi incluída em resina acrílica autopolimerizável Jet (Clássico, São Paulo, SP, Brasil), com auxílio de um cano PVC de 20mm de diâmetro (Tigre, Brasil), deixando-se exposta somente a cerâmica de cobertura e a superfície externa da infra-estrutura (Figura 10).

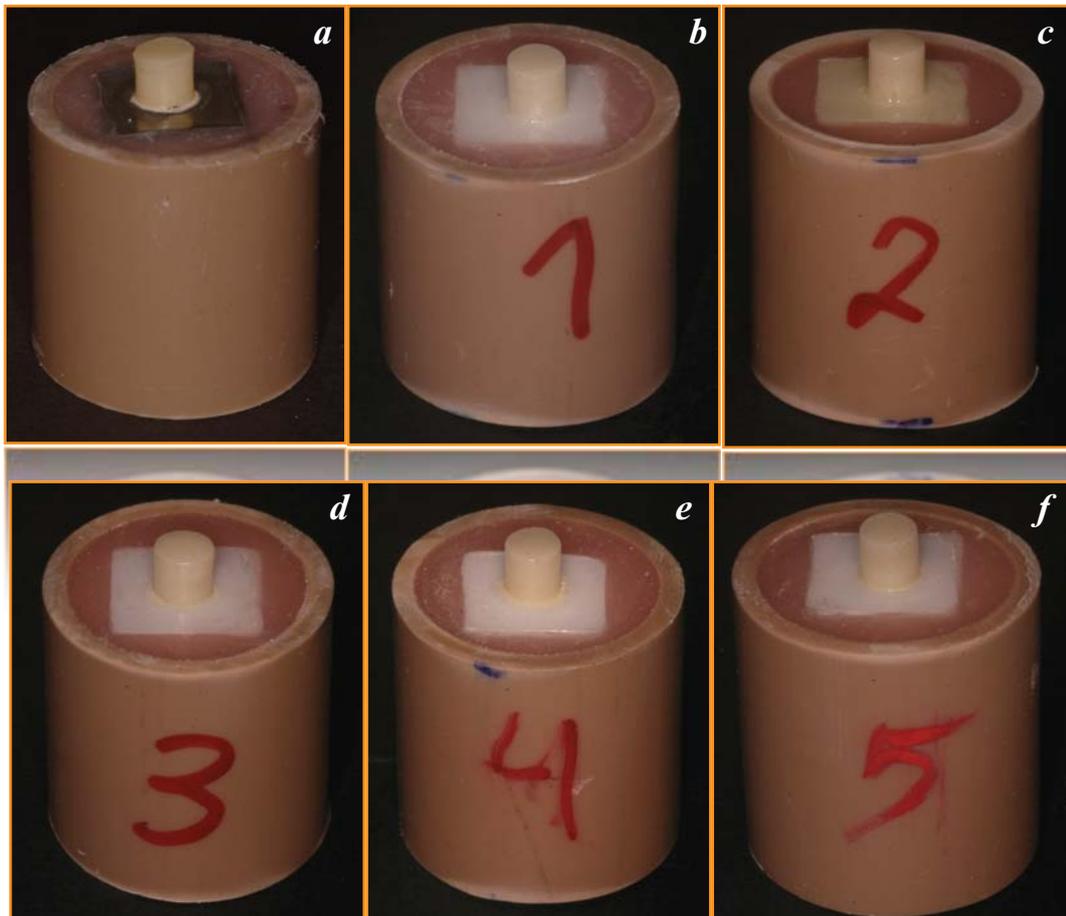


Figura 10: Inclusão das amostras nos canos de PVC. Grupo controle (a), grupo 1 (b), grupo 2 (c), grupo 3 (d), grupo 4 (e) e grupo 5 (f).

Cada espécime foi posicionado no interior do cano de PVC com o auxílio de um paralelômetro para haver uma padronização no posicionamento, evitando assim qualquer margem de erro durante o processo de confecção dos corpos de prova.

4.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Para realizar e medir a resistência de união, foi utilizado o teste de cisalhamento onde aplicou-se uma carga no limite de união entre a infra-estrutura e a cerâmica de cobertura (Figura 11).

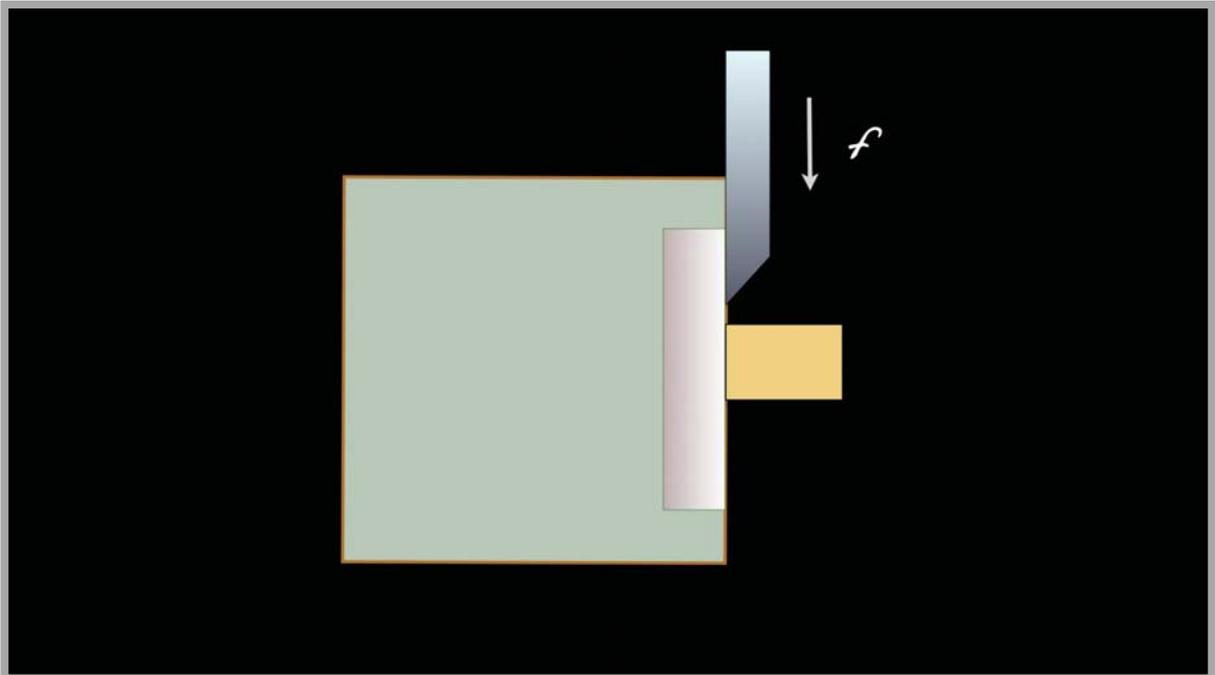


Figura 11: Desenho esquemático do teste de cisalhamento que foi realizado na linha de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura.

A partir da montagem do dispositivo de cisalhamento na máquina universal de ensaios EMIC DL-2000 (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) com célula de carga de 500N, foi dado o comando desencadeador da operação por computador através do software Mtest, a uma velocidade de carregamento de 0,5 mm/min (Figura 12). Os valores foram registrados em MPa e levados à análise estatística.

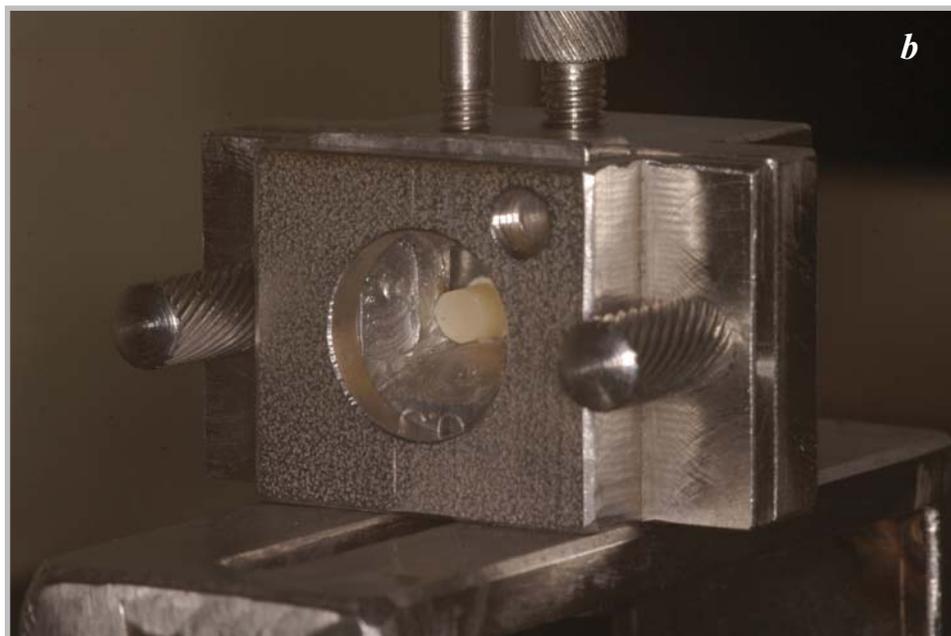


Figura 12: Máquina de teste EMIC DL 2000 (a); e cinzel de cisalhamento com o corpo de prova posicionado (b).

4.7 ANÁLISE DOS TIPOS DE FALHA

Após a fratura, todos corpos de prova foram avaliados em um Microscópio Eletrônico de Varredura com detector de elétrons secundários XL 30/Phillips (Electron Optics B.V., Eindhoven, Holanda). Da mesma forma, a superfície das infra-estruturas, antes de realizar a aplicação da cerâmica de cobertura, foram

examinadas no MEV, com finalidade de evidenciar as diferenças existentes na superfície de cada grupo.

A montagem das infra-estruturas nos dispositivos de fixação amostral (*stubs*) ocorreu com auxílio de uma fita adesiva dupla face (3M), que permitiu que a região fraturada de cada corpo-de-prova ficasse voltada para cima.

Posterior à fixação das amostras nos *stubs*, o conjunto foi dessecado por um dessecador a vácuo Primatec modelo 131A (Primatec Ind. E Com. LTDA, Itu, SP) por 7 dias e cobertas com aproximadamente 30nm de espessura de liga ouro/paládio em máquina *Sputter Coater* BAL-TEC SCD 005 (BAL-TEC AG, Liechtenstein, Alemanha). A liga foi depositada nas amostras em um nível de vácuo de 5×10^{-2} mbar. Após este procedimento, as amostras foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura com detector de elétrons secundários Phillips modelo XL30 (Phillips Electron Optics B.V., Eindhoven, Holanda) para determinar o tipo de falha ocorrida em todas as amostras.

As amostras foram observadas em magnificação numa aproximação de 37X, possibilitando a visualização da área total de união, determinando, assim, o tipo de falha pelo material predominantemente remanescente na infra-estrutura. Para a análise das áreas relativas entre infra estrutura e cerâmica de cobertura de cada corpo-de-prova, foi observado em magnificação de 200x. A superfície da infra-estrutura, antes da aplicação cerâmica, foi analisada numa magnificação de 2000X.

4.8 DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE FRATURA

Tipo de fratura: adesiva, coesiva ou mista. Foi classificado como coesiva quando houve uma fratura no corpo da cerâmica de cobertura, adesiva quando a falha ocorreu na junção entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura e mista quando foi adesiva e coesiva ao mesmo tempo (Figura 13).

Através de uma análise fotográfica e com o auxílio de um gabarito, as fraturas mistas foram avaliadas de acordo com o grau de comprometimento da fratura: Grau 1, Grau 2 e Grau 3, onde é observado o aumento da falha adesiva e uma diminuição na falha coesiva (Figura 14).

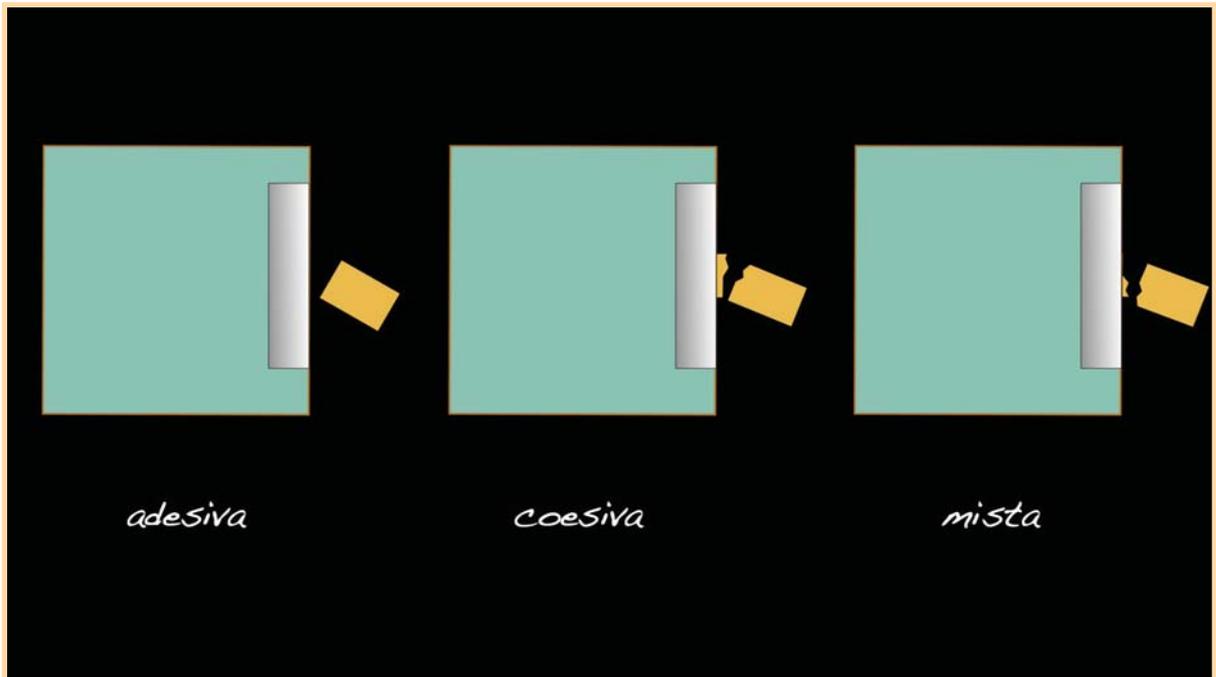


Figura 13: Desenho esquemático mostrando os tipos de fratura.



Figura 14: Gabarito utilizado para classificar o grau de comprometimento da fratura mista, onde há um aumento na falha adesiva e uma diminuição na falha coesiva da cerâmica de cobertura.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

A análise estatística dos valores de resistência de união ao cisalhamento foi realizada através de Análise de Variância. Em seguida, foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para verificar quais grupos diferiram entre si.

5. RESULTADOS

5.1 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Os valores de força de cada um dos corpos-de-prova submetidos à carga de cisalhamento até fratura, bem como as médias, desvios-padrão e coeficiente de variação dos grupos, estão dispostos abaixo, na (Tabela 3). Em seguida, os resultados são apresentados visualmente (Figura 15).

Tabela 3: Resultados do teste de cisalhamento (MPa). Estão indicados em verde e vermelho os valores máximos e mínimos, respectivamente.

ESPÉCIME	G1 zircônia	G2 zircônia cor	G3 zircônia liner	G4 zircônia sup. interna	G5 zircônia broca diamantada	C metalo- cerâmica
1	20,15	36,74	15,45	15,04	14,23	43,22
2	13,34	28,21	22,01	13,76	22,04	45,22
3	25,85	27,38	24,21	13,17	21,01	37,33
4	27,71	19,23	22,71	30,77	13,70	55,31
5	15,68	12,62	25,21	16,01	19,37	46,20
6	25,54	23,71	17,01	15,26	32,74	30,99
7	19,12	25,54	29,43	33,41	49,53	29,88
8	24,68	35,63	18,37	26,85	17,71	36,47
Média	21,51	26,13	21,8	20,53	23,82	40,58
Desvio-padrão	5,236	7,975	4,653	8,358	11,97	8,544
Coeficiente de Variação	24,34%	30,51%	21,34%	39,62%	50,36%	21,12%

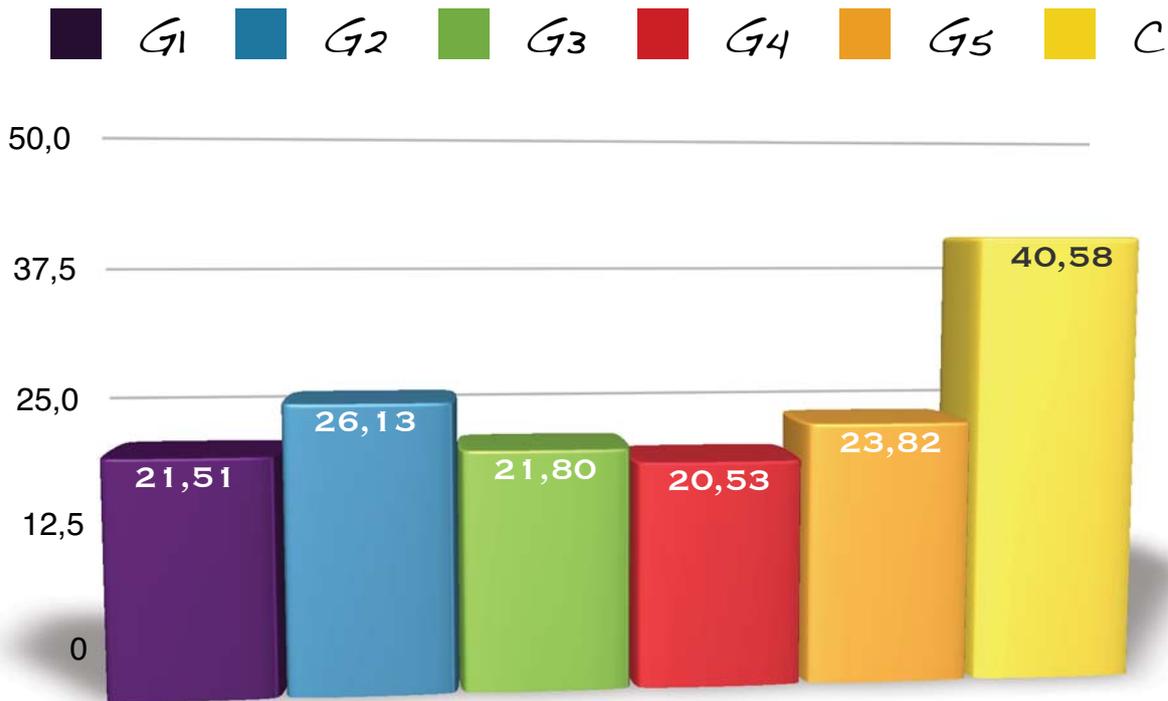


Figura15: Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à fratura (MPa), nos diferentes grupos.

Ao submeter os resultados ao teste Análise de Variância (ANOVA) foi possível observar que houve diferenças estatisticamente significantes entre os grupos experimentados ($p = 0,00$) (Tabela 4).

Tabela 4: Resultado da Análise de Variância

	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F	SIG.
Between Groups	2277,069	5	455,414	6,852	,000
Within Groups	2791,622	42	66,467		
Total	5068,691	47			

De acordo com o teste de comparação múltipla de Tukey, o tratamento que determinou maior resistência ao cisalhamento foi o obtido pelo grupo controle (metalo-cerâmico), sendo estatisticamente diferente ($p < 0,05$) dos demais grupos de zircônia. Os grupos de zircônia não apresentaram diferenças estatísticas entre si. O grupo 4 (união com a superfície interna) apresentou a menor média, enquanto o grupo 2 (zircônia com cor) apresentou a maior média entre os grupos de zircônia testados (Tabela 5).

Tabela 5: Médias seguidas de letras distintas diferem entre si em nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.

GRUPO	MÉDIA (MPA)	TUKEY (P<0,05)
Controle	40,58	a
2	26,13	b
5	23,79	b
3	21,8	b
1	21,5	b
4	20,53	b

5.2 PADRÃO DE FRATURA

Todas as amostras testadas, sem exceção, apresentaram fraturas mistas na cerâmica de cobertura, obtendo 100% de fratura mista em todos os grupos testados

Dentro das fraturas mistas o resultado de interpretação quanto ao grau de fratura estão expressos na seqüência (Tabela 6).

Tabela 6: Interpretação do grau de fratura de cada corpo de prova.

ESPÉCIME	G1 zircônia	G2 zircônia cor	G3 zircônia liner	G4 zircônia sup. interna	G5 zircônia broca diamantada	C metalo- cerâmica
1	3	3	2	1	3	2
2	2	3	3	2	3	3
3	3	3	3	1	3	2
4	3	3	3	2	2	2
5	2	2	2	2	2	3
6	3	2	2	2	3	1
7	3	3	3	3	3	1
8	3	3	2	2	2	2
predominantemente	3	3	3	2	3	2
% de fratura grau 1	0%	0%	0%	25%	0%	25%
% de fratura grau 2	25%	25%	50%	62,5%	37,5%	50%
% de fratura grau 3	75%	75%	50%	12,5%	62,5%	25%

5.3 FOTOGRAFIAS E MICROSCOPIAS

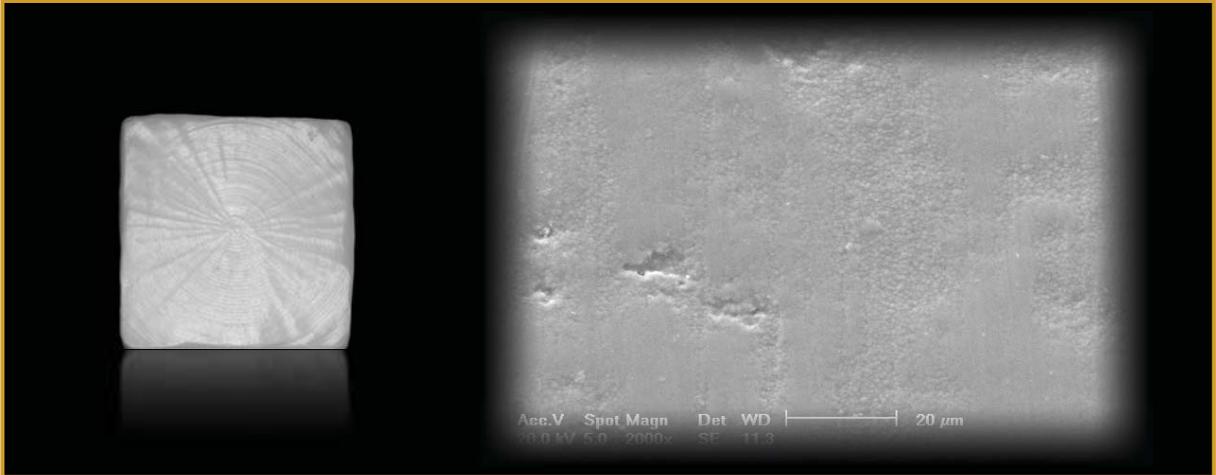


Figura 16: Fotografia e microscopia da superfície externa da zircônia (magnificação 2000X).

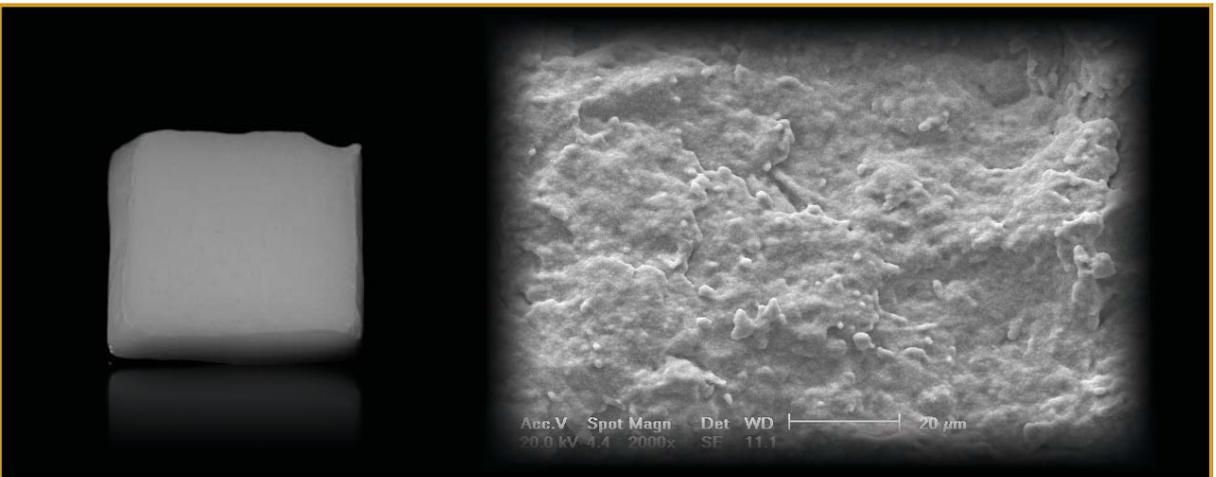


Figura 17: Fotografia e microscopia da superfície interna da zircônia (magnificação 2000X).

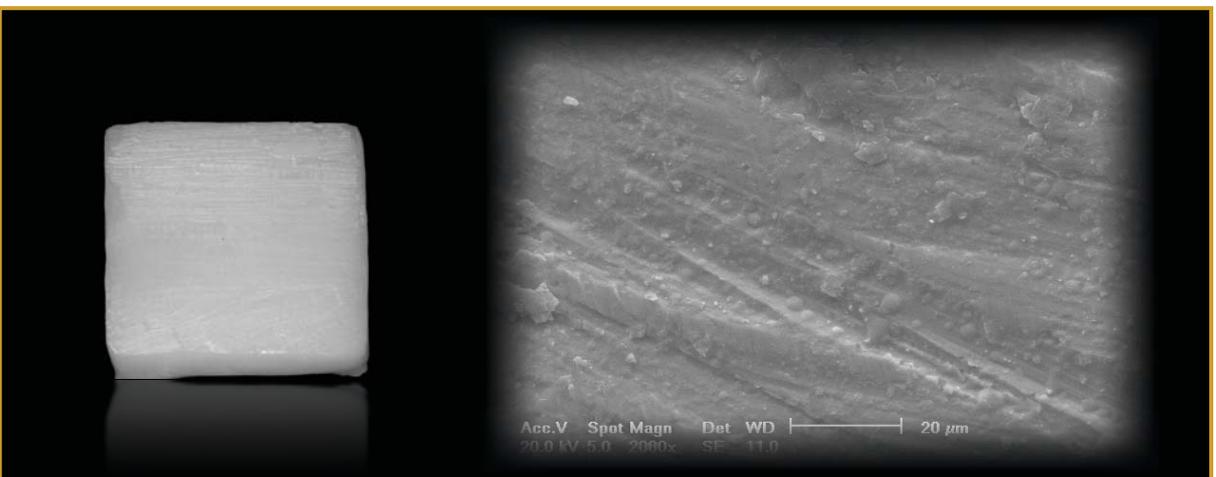


Figura 18: Fotografia e microscopia da superfície externa da zircônia após desgaste com ponta diamantada (magnificação 2000X).

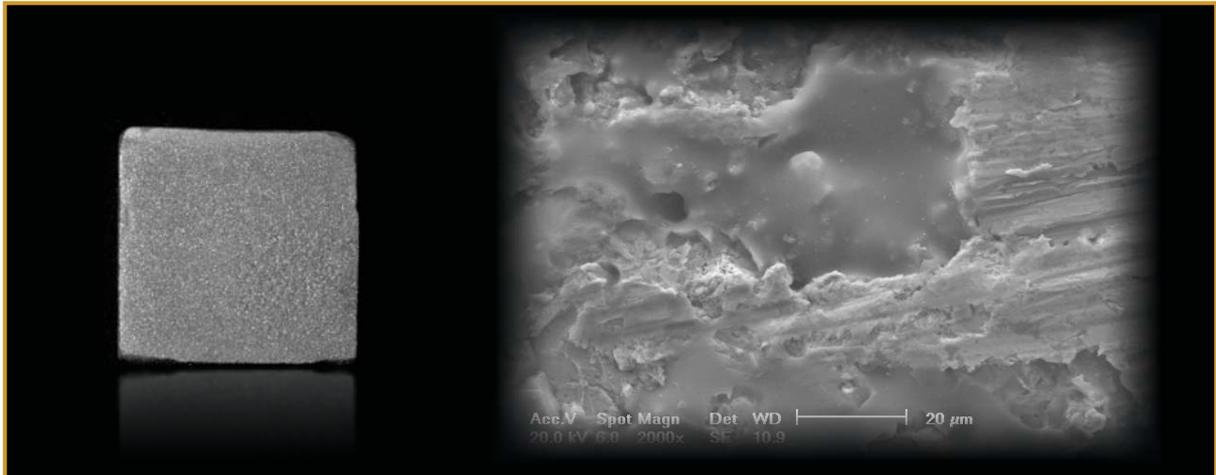


Figura 19: Fotografia e microscopia da superfície externa da liga metálica após jateamento com óxido de alumínio (magnificação 2000X).

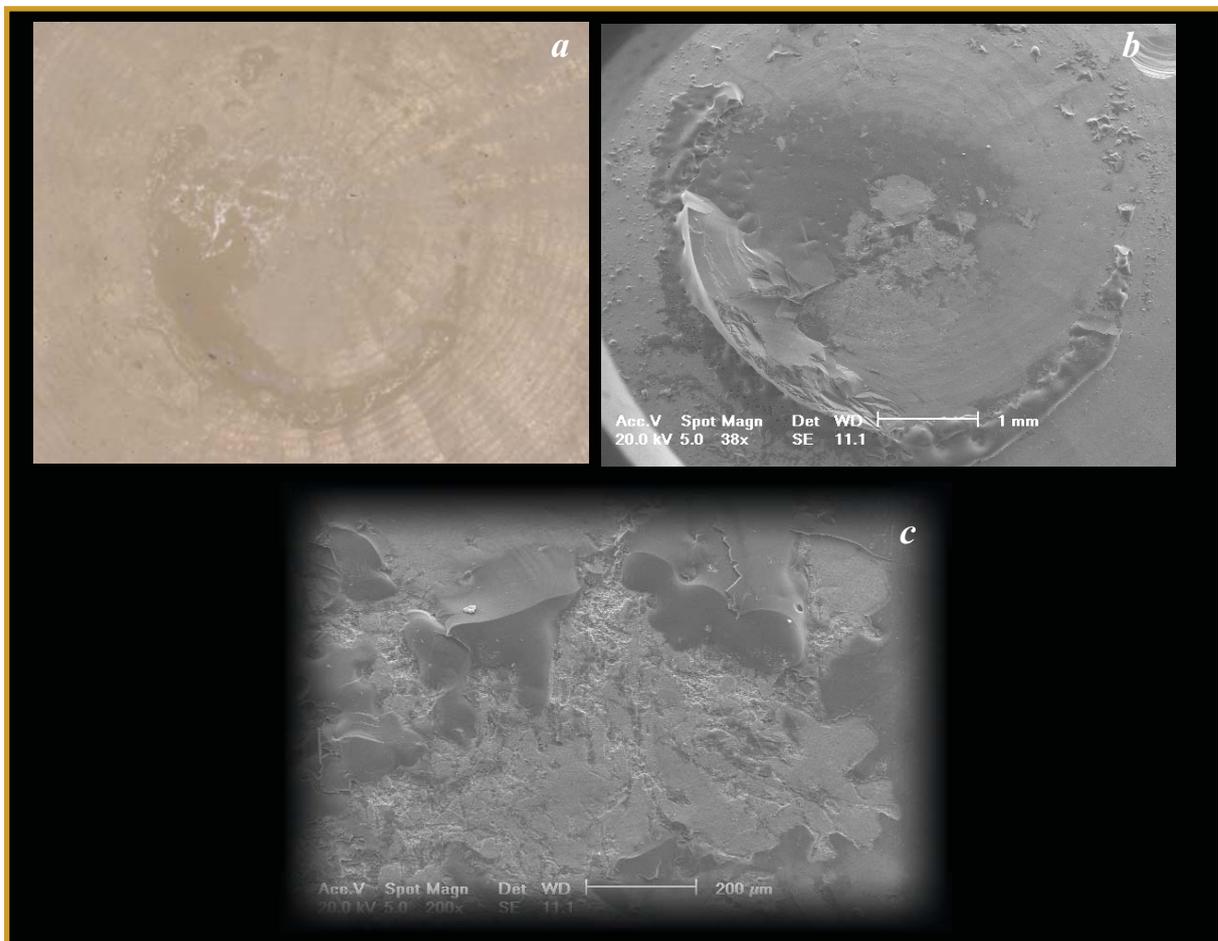


Figura 20: Imagem referente a uma amostra do grupo 2 (zircônia com cor). Observa-se praticamente a mesma qualidade de imagem da fotografia, pós cisalhamento (a), quando comparada com a microscopia numa magnitude de 38x (b). Analisando em um maior aumento (200x), observa-se uma interação da cerâmica de cobertura com a superfície da zircônia.

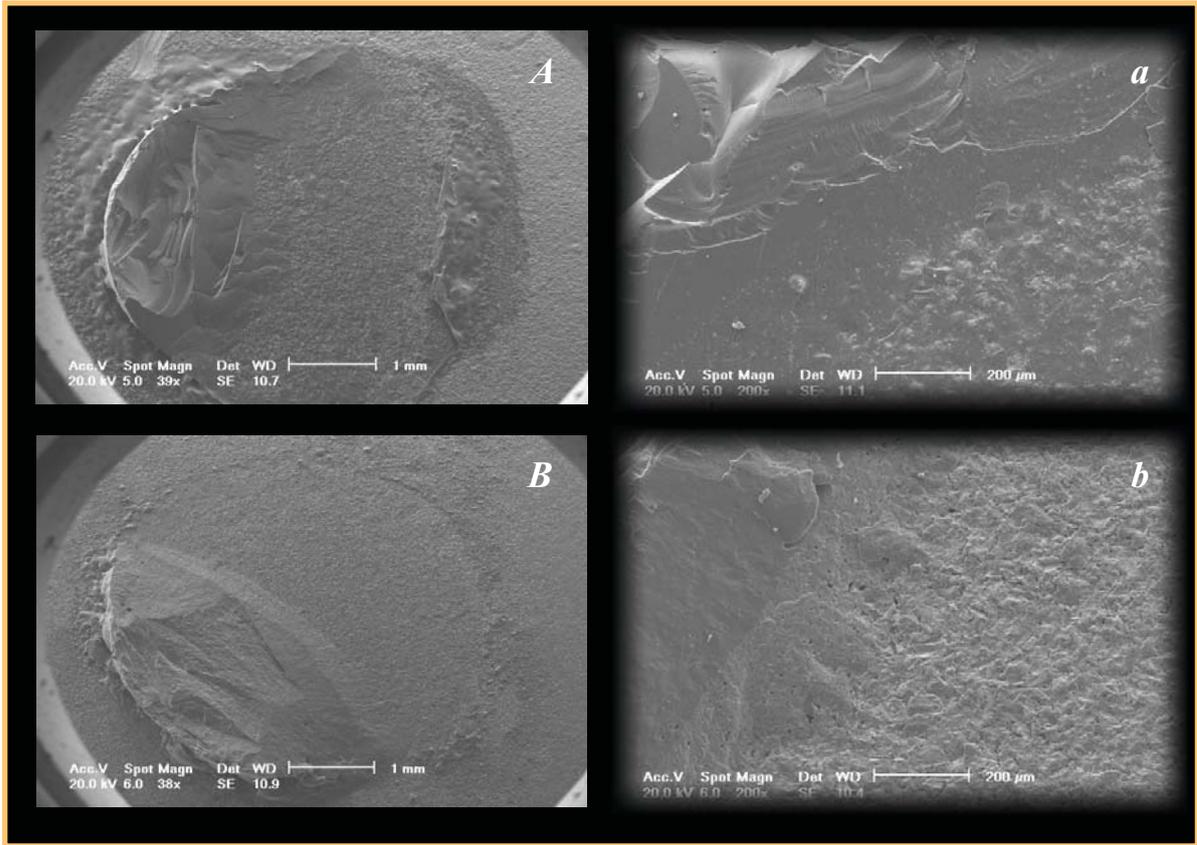


Figura 21.: Podemos observar nesta figura a similaridade da imagem microscópica obtida entre (A e B) e (a e b), onde (A/a) é referente a uma amostra do Grupo 4 (zircônia parte interna) enquanto (B/b) é referente a uma amostra do grupo controle (metalo-cerâmica). Nota-se padrão de fratura muito idêntico entre os dois grupos.

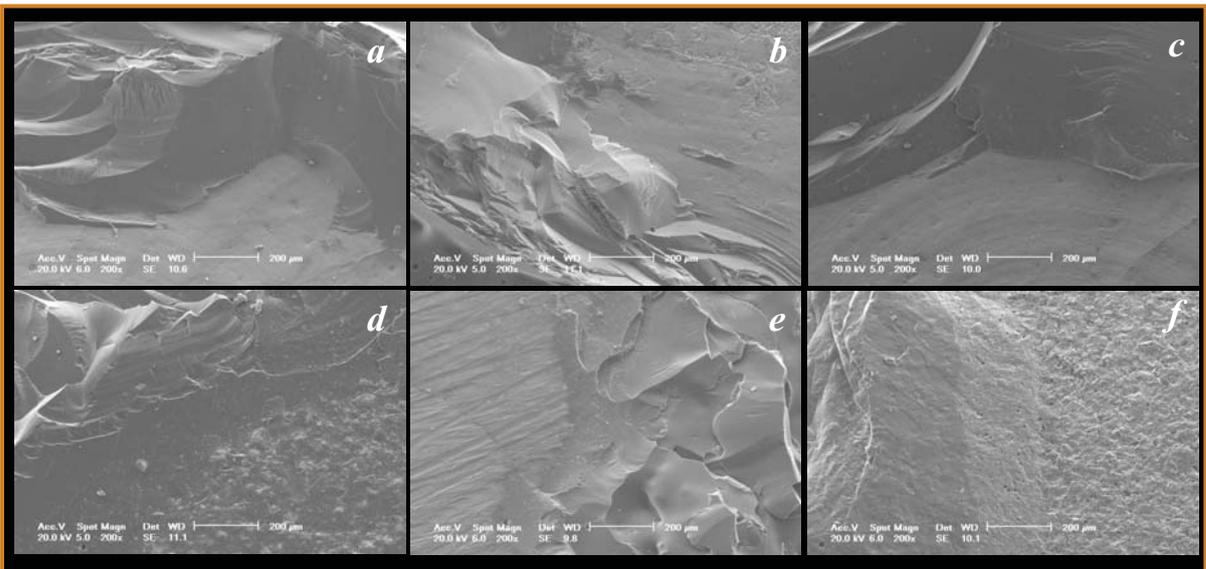


Figura 22.: Imagens microscópicas (magnificação 200X) referentes a transição entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura pós fratura. Grupo 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5 (e) e controle (f).

6. DISCUSSÃO

Devido a falta de respaldo científico de relatos clínico publicados e de poucos trabalhos *in vitro* encontrados na literatura com sistemas cerâmicos de zircônia, surgem muitas dúvidas e questionamentos técnicos de como deve-se trabalhar com esses novos sistemas restauradores.

De acordo com valores de resistência à fratura da zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio de 936.7 MPa (TINSCHERT et al., 2000), 1150 MPa (GUAZZATO et al., 2004) e 1140.89 MPa (YILMAZ et al., 2007), pode-se afirmar que a zircônia é um excelente material para ser utilizado como infra-estrutura das restaurações cerâmicas livres de metal devido a sua alta rigidez e resistência. Entretanto deve-se ter bem claro que sempre que citamos restaurações cerâmicas livres de metais e restauração metalo-cerâmicas, estamos falando de um sistema. Sistema porque dois materiais diferentes são unidos para formarem uma unidade, ou seja, um único corpo onde um depende do outro para se tornar uma unidade sólida. Então o sucesso de uma coroa cerâmica livre de metal e de uma coroa metalo-cerâmica depende da resistência da infra-estrutura, da resistência da cerâmica feldspática de cobertura e da resistência de união entre a infra-estrutura e a cerâmica de cobertura (YAMAMOTO, 1985).

Embora o presente estudo não tenha avaliado isoladamente a resistência flexural das cerâmicas feldspáticas de cobertura Nobel Rondo e IPS D.sign. Fischer et al. (2008) testaram a resistência flexural de algumas cerâmicas feldspáticas utilizadas para recobrir infra-estruturas de zircônia e infra-estruturas metálicas. Obtiveram os seguintes valores no teste de resistência flexural de 3 pontos: Nobel Rondo (98.8MPa) e IPS D.sign (93.3MPa). Constataram que não houve uma diferença significativa de resistência flexural entre estes materiais. Através deste trabalho podemos constatar que a diferença de resistência flexural existente entre as duas cerâmicas de cobertura testadas não é relevante para gerar alterações finais na resistência à fratura de todo o sistema cerâmico (infra-estrutura mais cerâmica de cobertura).

Os maiores valores de resistência de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura foram encontrados no grupo controle (metalo-cerâmico). Estes resultados

estão em concordância com os resultados encontrados na literatura (AL-DOHAN et al., 2004; GUESS et al., 2008). Guess et al. (2008) mostraram resultados similares aos valores encontrados neste estudo, quando foram comparadas as diferenças entre a média encontrada no grupo controle (metalo-cerâmica) com a média encontrada nos grupos de zircônia. Os grupos de zircônia apresentaram médias de resistência de união 50% menor do que a média do grupo controle.

Para justificar esta diferença de resistência de união encontrada entre o sistema metalo-cerâmica e o sistema de zircônia, deve-se levar em consideração os princípios de adesão propostos por Yamamoto (1985), tendo como base as restaurações metalo-cerâmicas. Existem 3 tipos forças de resistência de união: união química, união por retenção micromecânica e união por tensão de compressão. A união química ocorre entre a camada de óxidos presentes na superfície metálica e a cerâmica feldspática; a união micromecânica ocorre devido ao tipo de tratamento realizado na superfície com a finalidade de aumentar o contato íntimo com esta superfície; e a união por tensão de compressão ocorre durante o resfriamento da faceta cerâmica sinterizada sobre a estrutura metálica.

As ligas nobres, sem a presença de metais básicos em sua composição, não apresentam a formação da camada de oxidação em sua superfície, que é o principal responsável pela união química dos sistemas metalo-cerâmicos (WATAHA, 2002). Isto de fato é extremamente importante, pois os sistemas a base de zircônia não apresentam a camada de oxidação em sua superfície, conseqüentemente, a união química neste sistema pode ficar prejudicada. Vickery e Badinelli, em 1968, investigaram a força de união entre ligas de metais preciosos e a cerâmica de cobertura. Mostraram que quando adiciona-se metais básicos, para que haja oxidação da infra-estrutura, a resistência de união triplica em relação a liga sem adição destes metais. Esta camada de óxido contribui para o aumento da união química e da união mecânica, enquanto que a união por tensão de compressão reduz. Este trabalho demonstra nitidamente a importância da camada de oxidação para a resistência de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura e a importância da união química quando a camada de óxidos está presente, sendo esta a principal responsável pela resistência de união total do sistema. Quando esta camada não esta presente a resistência de união por tensão de compressão se torna o mecanismo de união mais importante.

Outro fator importante que está diretamente relacionado com a resistência de união, é a aplicação do opaco que tem como função na metalo-cerâmica, além de mascarar o fundo gris do metal, contribuir para a união química entre a infra-estrutura e a cerâmica de cobertura. Noguchi (1975) comparou diferentes ligas preciosas com diferentes cerâmicas feldspáticas, onde algumas cerâmicas possuíam na composição do opaco SnO_2 em diferentes quantidades, e outras não possuíam. Interessante que as cerâmicas que possuíam maiores quantidades de SnO_2 no opaco, apresentaram os maiores resultados de resistência de união, independente do tipo de liga utilizada. O sistema cerâmico Nobel Rondo Zircônia utilizado neste trabalho possui um *liner* (um tipo de opaco) o qual é recomendado para mascarar o fundo esbranquiçado da zircônia e dar cor a esta estrutura. No grupo 3 o qual foi aplicado o *liner* sobre a infra-estrutura de zircônia, e posteriormente aplicado a cerâmica feldspática, quando comparado com o grupo 1, o qual não foi aplicado *liner*, pode-se observar que a média dos resultados de resistência de união foram idênticos (21,8 e 21,51MPa, respectivamente), mostrando que o *liner* não contribuiu em nada para a resistência de união do sistema, diferenciando-se do sistema metalo-cerâmico. Porém constata-se que o grupo do 3 (*liner*) apresentou o menor coeficiente de variação de todos os grupos testados. A fina camada de *liner* auxiliou na padronização da força de resistência de união, tornando o sistema mais confiável e com menor variação.

Já comentou-se anteriormente que as infra-estruturas de zircônias não possuem a formação da camada de óxido em sua superfície. Entretanto, é interessante observar que o grupo 2 (zircônia com cor) obteve a maior média (26,85MPa) de resistência de união quando comparada com os demais grupos de zircônia. Uma hipótese para justificar o resultado encontrado neste grupo, seria atribuir esse aumento, na média da resistência de união, aos óxidos utilizados para colorir as cerâmicas odontológicas. Eles são os responsáveis pelas ligações químicas encontradas entre infra-estruturas e cerâmica feldspática de cobertura nos sistemas cerâmicos (YAMAMOTO, 1985). É claro que não sendo esta uma diferença estatisticamente relevante pelo teste de Tukey, serão necessárias novas amostragens e novos testes para comprovar esta hipótese. Se analisarmos a (Figura 20c) vamos observar a interação existente entre a infra-estrutura e a cerâmica de cobertura. Abaixo observa-se na (Tabela 7) alguns tipos de óxidos e suas respectivas cores presentes nos opacos de cerâmicas dentais.

Tabela 7: Alguns óxidos responsáveis por algumas cores dos sistemas cerâmicos (Yamamoto, 1985).

cor	óxido
Rosa	Mangânes, Alumínio e Ferro
Amarelo	Índio
Azul	Cobalto
Verde	Cromo
Cinza	Níquel
Marron	Ferro

Um aspecto que está relacionado com a aplicação cerâmica e pode interferir nos valores de resistência de união é a capacidade de umedecimento, que está diretamente relacionada com a energia livre de superfície do material que é medida pelo ângulo de contato entre líquido e a superfície a ser aderida (BAIER, 1992). A zircônia apresenta uma baixa energia livre de superfície (PICONI e MACCAURO, 1999), o que resulta num pobre umedecimento de sua superfície. No intuito de aumentar a energia livre de superfície da zircônia e melhorar o umedecimento da mesma pela cerâmica de cobertura, aumentando assim o contato entre ambas as partes, foi realizado desgaste, com broca diamantada, no grupo 5 e, no grupo 4, a aplicação da cerâmica foi realizada na superfície interna da zircônia, a qual já possui um rugosidade pré-fabricada. Entretanto, se analisarmos os resultados (Tabela 3) não houve uma melhora significativa na resistência de união quando comparado com os demais grupos de zircônia testados.

O grupo 5 obteve a maior resistência de união individual entre todos os grupos testados de zircônia (49,53MPa), perdendo apenas para o grupo controle (55,31MPa). Entretanto foi o grupo que apresentou o maior coeficiente de variação (50,36%), o que se torna muito prejudicial quando queremos estabelecer um padrão uniforme de aplicação. Yamamoto (1985) mostrou em sua obra vários tipos de tratamento de superfície realizados em ligas metálicas para posterior aplicação de uma cerâmica de cobertura. Analisou a importância do tratamento de superfície no aumento da união micromecânica com a cerâmica e no aumento da capacidade de umedecimento da mesma. Entretanto, mostrou que determinados tipos de tratamento podem comprometer a resistência de união, pois tornam as superfícies muito

irregulares gerando, assim, porosidade devido a incapacidade da cerâmica de se modelar em fissuras muito profundas. Estas porosidades diminuem o contato entre a cerâmica de cobertura e a superfície da infra-estrutura, gerando uma diminuição na resistência de união.

Este trabalho realizado por Yamamoto (1985), onde através de aplicação de uma fina camada de cerâmica transparente aplicada sob várias estruturas metálicas (com diferentes tratamentos de superfície) e sem a aplicação prévia de opaco; após sinterizada, foi possível observar o número e o tamanho das bolhas formadas entre a infra-estrutura e cerâmica de cobertura. Interessante é que nas infra-estruturas preparadas com fresas carbide, onde se obteve as superfícies mais regulares e lisas, constatou-se uma menor formação de bolhas entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura. Se compararmos com a imagem (Figura 16) da superfície da zircônia, vamos observar uma superfície extremamente lisa com ausência de irregularidades e muito similar a superfície gerada pelas fresas carbide no metal. Talvez isso justifique o porque do grupo 1 (zircônia sem tratamento) apresentar valores de resistência de união similares aos demais grupos de zircônia testados nesta pesquisa, por ser o grupo que possa conter a menor quantidade quantidade de bolhas na interface cerâmica/ infra-estrutura.

O grupo 4 aparentemente apresentou a maior capacidade de umidescimento pela cerâmica de cobertura (Figura 21), porém obteve a média mais baixa de resistência de união (20,53MPa). Ao analisar microscopicamente em 2000X a superfície interna da zircônia (figura 17) com a superfície da liga metálica jateada com óxido de alumínio 100 μ m (figura 19), observar-se que são as superfícies mais parecidas e teoricamente deveria existir uma maior resistência de união que os demais grupos testados. Microscopicamente ao comparar o grupo 4 com os demais grupos, observa-se uma maior interação entre a cerâmica de cobertura e a infra-estrutura (Figura 22). Interessante ressaltar que o padrão de fratura do grupo 4, foi muito similar ao grupo controle (metalo-cerâmico). Ao analisar a tabela 6, observa-se que o padrão predominante de fratura foi grau 2, tanto no grupo 4 como no grupo controle, ou seja, boa parte da cerâmica ficou presa a infra-estrutura predominando fratura coesiva, diferindo-se dos demais grupos de zircônia onde houve predominância de fratura grau 3 (adesiva). A partir desta constatação, surge uma nova questão em relação a propagação da tensão de cisalhamento na interface de

união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura, se esta tensão não gera uma força a qual sobrecarrega a cerâmica feldspática.

O jateamento com óxido de alumínio é o tratamento mais recomendado para preparar a infra-estrutura em restaurações metalo-cerâmicas, devido à sua capacidade de produzir uma superfície rugosa (Figura19), entretanto homogênea que auxilia na união micromecânica com a cerâmica de recobrimento (YAMAMOTO, 1985). Entretanto este tipo de tratamento não é possível de ser realizado nas infra-estruturas de zircônia, pois como observamos no trabalho de Borges et al. (2003) o jateamento com óxido de alumínio $50\mu\text{m}$ sobre a superfície do In-Ceran Zirconia não promoveu nenhuma alteração significativa microscopicamente. Muitos fabricantes (Nobel Biocare, Degussa) recomendam o jateamento com óxido de alumínio sobre as infra-estruturas de zircônia. Este procedimento está mais relacionado com a limpeza que o jateamento com óxido de alumínio pode promover sobre na superfície da zircônia. Yamamoto (1985) já relatava que o tratamento com jateamento de óxido de alumínio diminui a contaminação da superfície metálica. Kim et al. (2005) mostrou em seu trabalho que o jateamento com óxido de alumínio $50\mu\text{m}$ produziu uma superfície mais atulhada do sistema de zircônia, enquanto que o tratamento com *silica coating* gerou rugosidades superficiais pequenas regular e idênticas, o que é ideal.

Um aspecto que requer atenção, é a limpeza da superfície. Isto é fundamental para que não haja uma diminuição da energia livre de superfície (BAIER, 1992). A presença de materiais orgânicos como cera, óleo, ou a própria gordura da mão são responsáveis por diminuir a capacidade de umedecimento e, conseqüentemente, aumentar a presença de bolhas entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura. Isto é um fator muito importante a ser ressaltado pois, na prática diárias dos laboratórios é um fator bastante negligenciado principalmente pelo manuseio da infra-estrutura e contaminação da mesma. A limpeza pode ser realizada com jato de vapor. Esta é uma maneira prática de se realizar uma limpeza efetiva antes de iniciar a aplicação cerâmica, e bastante superior a limpeza realizada por detergentes (YAMAMOTO, 1985).

Quando é realizada a aplicação da cerâmica feldspática sob a infra-estrutura, é obrigatório que haja uma compactação das partículas cerâmicas de maneira que fiquem tão próximas quanto possível, com a finalidade de diminuir a contração

durante o processo de sinterização. Esta compactação realizada durante a aplicação é conhecida como *condensação da cerâmica*. Ela pode ser realizada por várias técnicas: com vibração (manual ou ultrason), pressão com espátula, pressão com escova ou pincel, pressão digital com papel absorvente, etc. Qualquer que seja o método usado é importante lembrar que a tensão superficial é a força orientadora na condensação e que a cerâmica nunca deveria ser deixada secar durante sua aplicação (PHILLIPS, 1984). Se a tensão superficial é a força orientadora no momento da condensação, isto dificulta ainda mais a aplicação da cerâmica sob uma infra-estrutura polida como a zircônia, pois sendo a energia de superfície muito baixa deste material requer que haja uma maior condensação durante a sua aplicação. É importante salientar que a condensação manual não é um procedimento realizado com precisão e está sujeito a uma grande variação. Esta variação pode acarretar em finas porosidades ou bolhas durante a construção cerâmica que também interferiram não só na interface de união da cerâmica de cobertura com a infra-estrutura, mas também na resistência da própria cerâmica feldspática (YAMAMOTO, 1985).

O coeficiente de expansão térmica (CTE) é outro fator a ser considerado, e deve ser muito respeitado especialmente quando trabalha-se com estruturas de zircônia. Ele que é o responsável pela união por tensão de compressão existente entre a cerâmica de cobertura e a infra-estrutura (WATAHA, 2002). A cerâmica feldspática Nobel Rondo Zirconia possui um CTE de $9,4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, enquanto que a infra-estrutura Procera Zircônia Y-TZP possui um CTE de $10,4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Esta diferença existente entre os CTE ($1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) faz com que a cerâmica fique com tensão de compressão sob a estrutura de zircônia (YAMAMOTO, 1984). E como foi relatado anteriormente no trabalho de Vickery e Badinelli (1968), quando a camada de óxidos não esta presente na infra-estrutura metálica a união por forças de compressão se tornam o mecanismo de união mais importante entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura. Guess et al. (2008) compararam três sistemas cerâmicos diferentes de zircônia e constataram que a variação de CTE entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura foi de 0,75 à $1,7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Entretanto, não houve uma diferença significativa na resistência de união entre os grupos testados, constatando-se que esta variação não foi significativa a ponto de comprometer a resistência de união. É claro que se houver estresse residual nesta interface, pode haver um comprometimento da resistência de união neste tipo de sistema. Ressaltam,

também, que as ligações químicas presentes nos sistemas metalo-cerâmicos são forças de união que resistem a transições e forças residuais de estresse durante o aquecimento e o resfriamento. Este fator pode contribuir para explicar a superior resistência de união dos sistemas metalo-cerâmicos quando comparados com os sistemas cerâmicos de zircônia.

A zircônia Y-TZP é um péssimo condutor térmico, considerado um isolante térmico. Possui condutibilidade térmica 2 WmK^{-1} (PICONI et al., 1999). Esta característica difere significativamente das estruturas metálicas que são excelentes condutores térmicos, e conseqüentemente, ocorrem modificações nos processos de resfriamentos pós-sinterização. O desenvolvimento de tensão por choque térmico não é nada incomum, isto pode ser causado por alterações dimensionais não uniformes durante o resfriamento. Deve-se compreender que quando uma coroa é removida do forno e esfriada ao ar livre, a superfície estará perdendo calor, mais rapidamente, que o interior da coroa. A superfície da coroa vai se contrair mais rapidamente que seu interior (PHILLIPIS, 1984). Um resfriamento abrupto dos sistemas cerâmicos de zircônia seria péssimo, pois sendo a zircônia um péssimo condutor térmico, deve-se realizar um resfriamento lento deste sistema, com a finalidade de não gerar tensões de tração que resultariam em fendas térmicas na cerâmica feldspática de cobertura. Isto vale tanto para o processo de resfriamento como para o processo de reaquecimento. O choque térmico é geralmente mais severo durante o reaquecimento ou a vitrificação de uma coroa do que no esfriamento. (YAMAMOTO, 1985).

Existe um questionamento que deve ser levado em consideração sobre o teste de cisalhamento realizado para medir a resistência de união dos sistemas cerâmicos no geral. Como foi relatado anteriormente, esta união entre cerâmica de cobertura e infra-estrutura é alcançada através de 3 mecanismos de resistência de união (união química, união micromecânica e união por tensão de compressão). Supõe-se que existam predominantemente forças por tensão de compressão neste sistema de zircônia, e que as forças micromecânicas e químicas sejam quase inexistentes. A partir desta suposição, devemos considerar que o teste de cisalhamento foi realizado medindo a união em uma estrutura de zircônia totalmente plana. Esta superfície plana se difere totalmente de um coping de zircônia que possui um desenho geométrico com áreas mais retentivas, referentes a um preparo

dentário. Isto é relevante, já que o mecanismo de união por tensão de compressão pode ser aumentado se possuir um desenho da estrutura mais retentivo.

Yamamoto (1985) em sua obra mostrou a importância dos desenhos ou do contorno adequado da infra-estrutura metálica com o objetivo de reforçar a cerâmica feldspática de cobertura. Neste presente trabalho obteve-se como resultados que a média da resistência de união do sistema de zircônia, independente do grupo testado, mostrou-se, aproximadamente, 50% mais baixo do que o grupo controle (metalo-cerâmico). Constatou-se, então, que este sistema possui uma resistência de união bastante inferior quando comparado com o grupo metalo-cerâmico e que cuidados propostos por Yamamoto com o desenho da infra-estrutura para reforçar a cerâmica de cobertura devem ser respeitados.

Uma variedade de ensaios tem sido utilizados para medir a resistência de união dos sistemas metalo-cerâmicos. Na revisão de literatura realizada por Hammad et al. (1996) observamos vários tipos de testes realizados para medir a resistência de união dos sistemas metalo-cerâmicos. Nenhum destes testes pode ser considerados como testes de precisão, para medir exatamente a resistência de união destes sistemas. Embora os estudos de laboratório ofereçam a orientação predizível à seleção detalhada dos materiais, os estudos clínicos longitudinais devem ser igualmente incentivados para complementar os resultados obtidos no laboratório.

7. CONCLUSÃO

O grupo controle metalo-cerâmico apresentou uma média de resistência de união ao cisalhamento aproximadamente 50% maior quando comparado com a média dos demais grupo de zircônia testado.

Diferente do opaco aplicado nas metalo-cerâmicas, o *liner* não auxilia na resistência de união dos sistemas de zircônia. Entretanto por ele ser aplicado em uma camada uniforme, o grupo o qual foi utilizado mostrou o menor coeficiente de variação entre todos os grupos testados.

A realização de rugosidades superficiais nas estruturas de zircônia com o intuito de aumentar a área de superfície e obter retenção micromecânica não trouxe nenhum benefício para o sistema, pelo contrário, aumentou o coeficiente de variação, transformando o sistema num tipo de restauração menos previsível clinicamente.

Todas as amostras apresentaram 100% de falhas mistas, o que comprovam a existência de união entre infra-estrutura e cerâmica de cobertura nos sistemas de zircônia.

REFERÊNCIAS

- AL-DOHAN, H. M. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. **J Prosthet Dent**, v.91, n.4, p.349-55, 2004.
- APHOLT, W. et al. Flexural strength of Cerec 2 machined and jointed InCeran-Alumina and InCeran- Zirconia bars. **Dent Mat**, v.17, p. 260-67, 2001.
- BAIER, R.E. Principles of adhesion. **Operat Dent**, v.5, p.1-9, 1992.
- BORGES, GA et al. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. **J Prosthet Dent**, v.89, n.5, p.479-88, 2003.
- CASELLAS, D. et al. Fracture toughness of zirconia-alumina composites. **Inter J Refract Met & Hard Mat**, v.17, p.11-22, 1999.
- CHAVALIER, J.; OLAGNON, C.; FANTOZZI, G.; Crack propagation and fatigue in zirconia-based composites. **Part A**, v.30, p. 525-30, 1999.
- ÇİFTÇİ, Y. et al. Sher Bond Strength Evaluation of Different Veneering Systems on Ni-Cr Alloys. **J of Prosthodontics**, v.16, n.1, p.239-47, 2007.
- DE AZA, A. H. et al. Crack growth resistance of alumina, zirconia and zirconia toughened alumina ceramics for joint prostheses. **Biomaterials**, v.23, p. 937-45, 2002.
- DEL BARRIO, J.M. Resistencia al cizallamiento de un sistema totalmente cerámico frente a siete sistemas ceramo-metálicos: estudio comparativo. **RCOE**, v.10, n.5-6, p. 529-39, 2005.
- DEVILLE, S. et al. Influence of surface finish and residual stresses on the ageing sensitivity of biomedical grade zirconia. **Biomaterials**, v.27, p. 2186-92, 2006.
- DUNDAR, M. et al. Comparison of two bond strength testing methodologies for bilayered all-ceramics. **Dent Mater**, v. 23, n.5, p. 630-36, 2007.
- FICHER, J.; STAWARCZYK, B.; HAMMERLE, C.H.F. Flexural strength of veneering ceramics for zirconia. **J Dent**, v.36, n.5, p.316-21, 2008.
- GOUVÊA, D.M. Avaliação do processo de limpeza superficial de pós de zircônia. **Cerâmica**, v.48, p.187-91, 2002.
- GUAZZATO, M. et al. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. **Biomaterials**, v.25, p.5045-52, 2004.
- GUESS, P.C. et al. Shear bond strengths between different zirconia cores and veneering ceramics and their susceptibility to thermocycling. **Dent Mater**, v.24, n.11, p.1556-67, 2008.

GUO, X.; SCHOBBER, T. Water Incorporation in Tetragonal Zirconia. **J Am Ceram Soc**, v.87, n.4, p.746-48, 2004.

HAMMAD, I.A. e TALIC, Y.F. Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: Review of the literature. **J Prosthet Dent**, v.75, n.6, p.602-08, 1996.

ITINOCHE, K.M. et al. Effect of mechanical cycling on the flexural strength of densely sintered ceramics. **Dent Mat**, v.22, p. 1029-34, 2006.

MACKERT, J.R. et al. The Relationship Between Oxide Adherence and Porcelain-Metal Bonding. **J Dent Res**, v.67, n.2, p. 474-78, 1988.

NOGUCHI, M.A. A study of bonding between porcelain and precious metal for fusing. **Shingaku**, v.63, n.5, p.590-613, 1975.

KIM, B.K. et al. The influence of ceramic surface treatments on the tensile bond strength of composite resin to all-ceramic coping materials. **J Prosthet Dent**, v.94, n.4, p.357-62, 2005.

PALLIS, K. et al. Fracture resistance of three all-ceramic restorative systems for posterior applications. **J Prosthet Dent**; v. 91, n. 6, p. 561-9, june 2004.

PHILLIPS, R.W. *Materiais Dentários de Skinner*. Rio de Janeiro: Interamericana, 8ª ed., 1984.

PICONI, C. e MACCAURO, G. Zirconia as a ceramic biomaterial. **Biomaterials**, v.20, p.1-25, 1999.

POTIKET, N. et al. In vitro fracture strength of teeth restored with different all-ceramic crown systems. **J Prosthet Dent**, v.92, n.4, p.491-95, 2004.

SCHWEITZER, DM. et al. Coparison of Bond Strength of a Pressed Ceramic Fused to Metal versus Feldspathic Porcelain Fused to Metal. **J of Prosthodontics**, v.14, n.4, p. 239-47, 2005.

SHILLINGBURG, H.T., HOBBS, S., WHITSETT, L.D. *Fundamentals in Fixed Prosthodontics*. Chicago: Quintessence, 3ª ed., 1997.

TASKONAK, B. et al. Analysis of subcritical crack growth in dental ceramics using fracture mechanics and fractography. **Dent Mat**, v.24, p.700-07, 2008.

TINSCHERT, J. et al. Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica- and zirconia-based ceramics. **J Dent**, v.28, p.529-35, 2000.

TADOKORO, S.K. Zircônia teragonal policristalina. Parte1: Síntese e caracterização. **Cerâmica**, v. 46, n.300, p.230-37, 2000.

VICKER, R., BADINELLI, L. Nature of attachment forces in porcelain-gold systems. **J Dent Res**, v.47, n.5, p.683-89, 1968.

WATAHA, J.C. Alloys for prosthodontic restorations. **J Prosthet Dent**, v.87, n.4, p. 351-63, 2002.

YAMAMOTO, M. Metal-Ceramic Principles and Methods of Makoto Yamamoto. Chicago: Quintessence, 1985.

YILMAZ, H.; AYDIN, C.; GUL, B. Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. **J Prost Dent**, v. 98, n. 2, p. 120-28, 2007.

ANEXOS

Actualização das instruções

Indicações

A NobelRondo™ Zirconia é uma cerâmica de revestimento para utilização com todas as subestruturas de óxido de zircónio completamente sinterizado com um CTE de aprox. 10×10⁻⁶K⁻¹ (25–500°C).

Contra-indicações

- Revestimento de subestruturas que não se encontram dentro do intervalo de CTE
- Preparações impróprias
- Falta de espaço para revestimento

Recomendações de cocção

- **Nota!** Nunca submeter a cerâmica de revestimento a um tempo de cocção insuficiente
- **Nota!** O óxido de zircónio é um fraco condutor de calor. Nunca utilizar uma taxa de aquecimento de mais de 45°C/min para o revestimento.
- **Nota!** Evitar colocar demasiados objectos no tabuleiro de cocção, já que estes absorvem demasiada energia e podem causar uma cocção insuficiente
- **Nota!** Com grandes subestruturas de pontes, pânticos massivos ou muitas unidades pequenas, elevar a primeira e segunda temperatura de cocção da dentina

Regra geral: A temperatura final das unidades adicionais (coroa, pântico, etc.) deverá ser elevada 2°C para cada uma; no entanto, o aumento máximo de temperatura não deverá exceder os 15°C.

Exemplo 1ª cocção da dentina de ponte de 6 unidades:

5 unidades adicionais – 910°C + (5×2°C) – temperatura de cocção = 920°C.

- Os tempos de pré-secagem e encerramento do forno poderão ser prolongados com superestruturas de pontes grandes, pânticos massivos ou várias unidades pequenas
- **Note!** Para reduzir a tensão térmica, aconselha-se uma fase de abertura lenta do forno
- **Nota!** A utilização de tabuleiros de cocção grandes causa uma absorção de calor excessiva e influencia negativamente os resultados de cocção. Assim, **recomenda-se a utilização de tabuleiros de cocção com respiração**. Se for utilizado um tabuleiro de cocção grande, a temperatura de cocção deverá ser elevada aproximadamente 10°C.
- Primeiro, aplicar e cozer o material de ombro, depois seguir a camada de cocção, etc
- Seguir as instruções de cocção apresentadas abaixo. **As recomendações gerais especiais da NB para subestruturas grandes estão apresentadas abaixo.**
- **Nota!** Nunca colocar objectos directamente no meio dos parafusos de cocção. Recomendamos parafusos de arame fino.
- **Nota!** Nunca colocar objectos directamente no meio do tabuleiro de cocção. Utilizar a área indicada no esquema apresentado abaixo (junto aos elementos de aquecimento).

- **Nota!** Depois da abertura do forno, deixar as estruturas de revestimento de óxido de zircónia arrefecerem lentamente até ao nível da temperatura ambiente. Este procedimento irá reduzir mais as tensões térmicas não desejadas.



Fig. 1: Os objectos nunca devem ser colocados no círculo interior do tabuleiro de cocção (área vermelha).

- **Nota!** Nunca se deve trabalhar em estruturas de óxido de zircónia com instrumentos rotativos utilizando pressões altas ou de alta velocidade ou sem utilizar o arrefecimento de água. O mesmo se aplica aos ajustes feitos pelo dentista.

A. Programa de cocção geral

Substruturas pequenas e médias em zircónia

Programa de cocção geral NobelRondo™ Zirconia	Tempo de pré-aquecimento [°C]	Tempo de secagem [min.]	Taxa de aquecimento [°C/min.]	Temp. de cocção [°C]	Período de contenção [min.]	Vácuo [hPa]	Arrefecimento lento [min.]
1ª cocção de ombro	575	8:00	45	980	1:00	50	–
2ª cocção de ombro	575	8:00	45	960	1:00	50	–
Cocção do liner	575	8:00	45	930	1:00	50	–
1ª cocção da dentina	575	9:00	45	910	1:00	50	–
2ª cocção da dentina	575	8:00	45	900	1:00	50	–
Glaseamento	575	5:00	45	880	1:00–2:00	–	–
Correcção	575	5:00	45	850	1:00	50	–

B. Programa de cocção especial

Substruturas grandes, por exemplo, pontes compridas/grossas em zircónia

Programa de cocção NobelRondo™ Zirconia	Temp. de pré-aquecimento [°C]	Tempo de secagem [min.]	Taxa de aquecimento [°C/min.]	Temp. de cocção [°C]	Período de contenção [min.]	Vácuo [hPa]	Arrefecimento lento [min.]
1ª cocção de ombro	575	8:00	45	980	1:00	50	6:00
2ª cocção de ombro	575	8:00	45	960	1:00	50	6:00
Cocção do liner	575	8:00	45	930	1:00	50	6:00
1ª cocção da dentina	575	9:00	45	910–925	1:00	50	6:00
2ª cocção da dentina	575	8:00	45	900–915	1:00	50	6:00
Glaseamento	575	5:00	45	880	1:00–2:00	–	6:00
Correcção	575	5:00	45	850	1:00	50	6:00

Procera® Zirconia Y-TZP				
Componentes	ZrO ₂ +Y ₂ O ₃ +HfO ₂	Y ₂ O ₃	HfO ₂	Al ₂ O ₃
Composição química	> 99 %	4,5 % – 5,4 %	< 5 %	< 0,5 %
Densidade	> 6,05 g/cm ³			
Granulação	< 0,5 µm			
Dureza Vickers	1200			
Temperatura de fusão	2700°C			
Resistência à flexão	1121 MPa			
Módulo de Young	210 GPa			
Resiliência K _{1C}	10 MPa√m			
Expansão térmica	10,4·(10 ⁻⁶ /°C) (500°C)			