

AVALIAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO DE FIOS ORTODÔNTICOS
RECOBERTOS COM RESINA EPOXÍDICA

Ana Maria Bezerra Bandeira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

Aprovada por:

Prof^ª Marysilvia Ferreira, D.Sc.

Prof. Carlos Nelson Elias, D.Sc.

Prof. Célio Albano da Costa Neto, Ph.D.

Prof. Luis Cláudio Mendes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2004

BEZERRA BANDEIRA, ANA MARIA

Avaliação da força de atrito de fios ortodônticos recobertos com resina epoxídica

[Rio de Janeiro] 2004

XVIII, 103 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2004)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Recobrimento de Fios Ortodônticos

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

DEDICATÓRIA:

Especialmente a minha mãe, que sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida, permitindo que eu concluísse mais esta tarefa. Seu estímulo e sua dedicação como mãe é inegavelmente exemplar.

A todos os meus familiares que me apoiaram com palavras de otimismo, as quais me impulsionaram a chegar até o fim deste curso.

AGRADECIMENTOS:

A Deus, por toda força que recebi para concluir mais uma etapa de minha vida profissional.

A minha orientadora Prof^a. Marysilvia, por toda sua atenção, dedicação e comprometimento com a causa. Sempre esteve disposta a esclarecer as dúvidas, além de apoiar e acreditar na possibilidade real do sucesso deste trabalho.

Ao Prof. Carlos Nelson Elias (IME), profissional que aprendi a admirar pelo seu empenho, dedicação à pesquisa. Seu apoio foi de suma importância para execução da parte experimental da tese.

Ao Prof. Célio Albano que, a exemplo da orientadora, sempre esteve disponível nos momentos importantes do curso de mestrado. Sem a sua orientação inicial seria muito difícil concluir esta etapa final da tese.

Ao Prof. Laval (IME), pela rica orientação em relação à estatística e no manuseio do programa Statistic, juntamente com o Prof. Alaelson (IME). E também ao Prof. Windson (IME), que esclareceu muitas dúvidas em relação às propriedades da liga de NiTi.

À Prof^a. Glória Dulce de Almeida, a qual foi a primeira pessoa da COPPE em que me espelhei e que me incentivou a continuar, apesar das dificuldades inerentes a um curso totalmente distinto da minha carreira odontológica.

À Prof^a. Kátia Riera (IBEO), que se colocou sempre disponível para esclarecer dúvidas e para ajudar em qualquer situação.

Ao Prof. Gino Pulitini (IBEO), que plantou a idéia inicial deste trabalho e

sempre esteve pronto a orientar quando solicitado. Em sua mente não faltam idéias promissoras para trabalhos científicos.

A minha querida amiga Mônica Zacharias, que foi muito importante como fonte inspiradora de alegria, sempre risonha, mesmo nos momentos em que estávamos aflitas para aprender tudo sobre materiais.

À amiga Adriana, que me orientou a seguir este curso de mestrado e sempre esteve pronta para dar dicas, a fim de que eu pudesse alcançar as metas do curso da melhor forma.

À amiga Clarice Nishio, pelo apoio quanto à realização dos experimentos deste trabalho, cuja parte experimental foi inspirada por sua monografia. Além disso, ela possibilitou o importante contato com o Prof. Carlos Nelson Elias.

Ao meu protético Ângelo Fialho e sua equipe, que disponibilizaram o laboratório para a realização de qualquer experimento científico.

A Márcia Sader, pela sua paciência ao fazer todas as micrografias em MEV, sempre muito prestativa e pontual em seus compromissos.

À Prof^a. Marilena Pessoa, professora de português e inglês, que esteve sempre prestativa para orientações quanto à redação do *abstract*, além de estar sempre disponível para solucionar dúvidas quanto às línguas portuguesa e inglesa.

A todos os funcionários, principalmente da microscopia ótica e preparação de amostra, devido à dedicação do trabalho de grande importância para o andamento das pesquisas.

Ao funcionário Leonardo (IME), devido a sua dedicação e paciência na utilização da máquina *EMIC*.

Ao Sr. Feliciano, que sempre atendeu as minhas solicitações, enquanto eu usava o computador do IME para fazer as análises estatísticas.

Aos colegas de trabalho do PS Madre Teresa de Calcutá, pelo estímulo e colaboração durante todo o período da tese.

Aos fabricantes Morelli, *TP orthodontics* e GAC pelo apoio técnico e pela doação dos materiais utilizados na tese.

Em especial, ao Sr. Emanuel Ribeiro de Almeida da empresa Morelli, que não poupou esforços para atender as nossas solicitações.

E a todos que, direta e indiretamente, contribuíram de algum modo para a realização deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO DE FIOS ORTODÔNTICOS
RECOBERTOS COM RESINA EPOXÍDICA

Ana Maria Bezerra Bandeira

Dezembro/ 2004

Orientadores: Marysilvia Ferreira

Carlos Nelson Elias

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

No presente estudo foi avaliada a força de atrito em sistemas de deslizamento compostos por quatro fios ortodônticos com diâmetro de 0,016” (aço inoxidável Morelli, NiTi Morelli, NiTi recoberto por resina epoxídica Morelli e NiTi recoberto por resina epoxídica GAC), dois tipos de ligaduras elastoméricas (Morelli e *TP Orthodontics*) e três tipos de braquetes do sistema *Roth* (aço inoxidável Morelli, e cerâmicos MXi da *TP Orthodontics* e *Mystique* da GAC), na presença ou não de saliva artificial. Os componentes foram caracterizados individualmente por microscopia eletrônica de varredura (MEV), ótica (MO) e estereoscópica. A força de atrito foi avaliada medindo-se a força máxima necessária para deslizar o fio em grama-força. Observou-se que, para os diferentes fios, a força de atrito cresce na seguinte ordem: aço inoxidável, NiTi, NiTi recoberto GAC e NiTi recoberto Morelli. Estatisticamente, os braquetes apresentaram diferenças significativas entre si. Porém, dependendo da interação avaliada, tais diferenças não foram observadas. A ligadura TP produz menor valor de força máxima do que a ligadura Morelli. A saliva, na maioria das vezes, favorece o deslizamento, reduzindo os valores de força. Entretanto, na avaliação da eficiência do sistema de deslizamento, ele deve ser considerado como um todo, ou seja, os diferentes componentes não podem ser avaliados separadamente. Um componente que, na maior parte das combinações, tende a apresentar maior resistência ao deslizamento, como o fio recoberto Morelli, pode, pela combinação adequada com os demais componentes, apresentar forças de atrito equivalentes aos sistemas tradicionais.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF THE FRICTIONAL FORCES OF EPOXY RESIN COATED
ORTHODONTIC WIRES

Ana Maria Bezerra Bandeira

December/2004

Advisors: Marysilvia Ferreira

Carlos Nelson Elias

Department: Metallurgical and Materials Engineering

Frictional forces produced in different sliding systems comprised by four 0.016-inch orthodontic wires (Morelli stainless steel, Morelli NiTi, epoxy resin coated Morelli NiTi, and epoxy resin coated GAC NiTi), two types of elastomeric ligatures (Morelli and TP Orthodontics), and three types of Roth system brackets (one Morelli stainless steel, and two in ceramic, MXi from TP Orthodontics and Mystique from GAC) were evaluated. All systems were tested in dry and artificial saliva environment. The components were characterized by scanning electron, optical and stereoscopic microscopy. The friction force was determined by the maximum force required for sliding the wires in gram force. It was observed that, for the different wires, the frictional force increases in the following order: Morelli stainless steel, Morelli NiTi, GAC coated NiTi and Morelli coated NiTi. The statistic analysis showed that the brackets presented significant differences among themselves. However, depending on the interaction evaluated, these statistic differences are not observed. TP ligatures provide lower values of maximum force than Morelli ligatures. In most systems, the saliva reduced the maximum frictional force. Nevertheless, in order to evaluate the efficiency of the sliding system, this system must be considered as a whole, that is, each component cannot be assessed separately. One component that in most combinations tends to present the most resistant capacity to sliding, like the coated Morelli wire, is able to present with an adequate combination of the components forces of friction equivalent to the traditional systems.

ÍNDICE:

1	INTRODUÇÃO:	19
2	REVISÃO DE LITERATURA:	20
2.1	Coeficiente de Atrito:	20
2.2	Material do Braquete:	22
2.3	Fios Ortodônticos:	26
2.4	Tipo de Ligaduras:	29
2.5	Influência do Meio no Coeficiente de Atrito:	31
2.6	Recobrimentos nos Fios Ortodônticos:	33
2.6.1	Aplicação dos Recobrimentos:	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS:	36
3.1	Métodos de Aplicação do Recobrimento:	36
3.1.1	Preparação Mecânica da Superfície do Fio NiTi :	37
3.1.2	Métodos de Recobrimento após Preparação Mecânica da Superfície:	37
3.1.3	Preparação da Superfície do Fio NiTi por Soluções Químicas:	38
3.1.4	Métodos de Recobrimento após Preparação da Superfície com Solução Química:	38
3.2	Caracterização dos Acessórios Ortodônticos:	39
3.3	Ensaio de Atrito:	39
3.4	Análise Estatística:	44
3.5	Avaliação do Diâmetro dos Fios Ortodônticos:	44
4	RESULTADOS:	45
4.1	Caracterização dos Fios Ortodônticos:	45
4.1.1	Fios Ortodônticos de Aço Inoxidável Morelli (CrNi):	45
4.1.2	Fios Ortodônticos NiTi Morelli:	45
4.1.3	Fios Ortodônticos NiTi Morelli com Preparo de Superfície:	46
4.1.3.1	Preparação Mecânica da Superfície do Fio NiTi :	46
4.1.3.2	Preparação da Superfície por Soluções Químicas:	50
4.1.3.3	Métodos de Recobrimento após Preparação Mecânica da Superfície:	52
4.1.3.4	Métodos de Recobrimento após a Preparação da Superfície com Solução Química:	54
4.1.4	Fios Ortodônticos NiTi Recoberto Morelli:	55
4.1.5	Fios Ortodônticos NiTi Recoberto da GAC:	56

4.2	Caracterização dos Braquetes:	58
4.3	Caracterização das Ligaduras:	60
4.4	Ensaio de Atrito:.....	61
4.5	Avaliação do Diâmetro dos Fios Ortodônticos:.....	65
4.6	Caracterização dos Fios Ortodônticos Após os Ensaio de Atrito:	66
5	<i>ANÁLISE E DISCUSSÃO:</i>	71
5.1	Análise Estatística:	71
5.1.1	Braquete de Aço Inoxidável Morelli:	75
5.1.2	Braquete de Cerâmica MXi:	77
5.1.3	Braquete de Cerâmica Mystique:.....	79
5.1.4	Avaliação das observações para os três braquetes:.....	81
5.2	Avaliação dos Fios Ortodônticos:	85
5.3	Avaliação dos Braquetes e das Ligaduras:	87
5.4	Avaliação das Forças Máximas de Atrito:	89
6	<i>CONCLUSÃO:</i>	94
7	<i>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:</i>	96
8	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA:</i>	97
9	<i>ANEXO I:</i>	102

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Combinações que foram realizadas nos trabalhos experimentais e números de experimentos.....	43
Tabela 2 – Médias de força máxima em gf para as diferentes combinações dos experimentos de atrito.	62
Tabela 3 – Tabela ANOVA para o braquete aço Morelli.....	102
Tabela 4 - Tabela ANOVA para o braquete cerâmico MXi.....	102
Tabela 5 - Tabela ANOVA para braquete Mystique.....	102
Tabela 6 - Tabela ANOVA avaliando os braquetes em conjunto. (Statistic).....	103

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 – Histograma da resistência ficcional em gramas de três sistemas de braquete-fio na presença de saliva artificial (KARAMOUZOS et al, 1997).....	23
Figura 2 - Micrografias eletrônicas: (a) braquetes aço inoxidável e (b) cerâmico com aumento de 20 X; (c) <i>slot</i> aço inoxidável e (d) <i>slot</i> cerâmico mostrados com aumento de 160 X (ANGOLKAR et al, 1990).....	24
Figura 3 - Micrografias eletrônicas de <i>slots</i> em seis braquetes cerâmicos populares: (a) Starfire, (b) Allure III, (c) Lumina, (d) Quasar, (e) Transcend, (f) 20/20 (SAUNDERS e KUSY, 1994).....	25
Figura 4 - Micrografias eletrônicas da seção longitudinal da superfície do <i>slot</i> de três braquetes. As barras brancas nas micrografias indicam 100 µm: (a) novo braquete cerâmico; (b) braquete de alumina policristalino; (c) braquete de óxido de zircônio (TANNE et al, 1994).	25
Figura 5 – Histograma da força de fricção produzida por arcos de espessuras diferentes para vários tipos de liga em <i>slots</i> cerâmicos de 0.018” (a) e de 0.022” (b) (ANGOLKAR et al,1990).	29
Figura 6 - Ligaduras de aço (a) e elastomérica (b).....	30
Figura 7 - Braquetes com ligação própria (SHIVAPUJA e BERGER, 1994).	30
Figura 8 - Comparação da recuperação elástica das ligaduras com e sem <i>metafasix</i>	31
Figura 9 - Comparação entre os coeficientes de atrito estático e cinético, em função da liga do arco em braquetes cerâmicos e na ausência (a) ou presença de saliva (b) (SAUNDERS e KUSY, 1994).....	32
Figura 10 - Placa com os três cilindros giratórios.	40

Figura 11- Sistema montado para realização dos testes na máquina <i>EMIC</i>;	41
Figura 12 - Placa com cilindro giratório onde é colado o braquete.....	41
Figura 13 – Micrografias do fio de aço inoxidável com aumento de 50 X (a); 100 X (b); 500 X (c); 1000 X (d) (MEV).....	45
Figura 14 - Macrografia do fio aço inoxidável, vista transversal com aumento de 10 X (MO).....	45
Figura 15 - Micrografias do fio de NiTi com aumento de 50 X (a); 500 X (b); 1000 X (c) (MEV).	46
Figura 16 – Macrografia do grão de óxido de alumínio de 150 µm – médio, aumento 5 X (a); 10 X (b); 20 X (c) (MO).....	46
Figura 17 – Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 45 µm; aumento 100 X (a) e aumento 1000 X (b) (MEV).	47
Figura 18 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 150 µm; aumento 100X (a) e aumento 1000 X (b) (MEV).	47
Figura 19 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 250 µm; aumento 100X (a) e aumento 1K (b) (MEV).	48
Figura 20 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 150 µm comparando elétrons secundários (a) com elétrons retroespalhados, aumento 500 X (b) (MEV).	48
Figura 21 - Micrografia da superfície do NiTi jateado com óxido de alumínio 150 µm após limpeza com peróxido de hidrogênio; elétrons secundários (a); elétrons retroespalhados (b), aumento 500 X (MEV).	49
Figura 22 - Micrografia da superfície do NiTi jateado com óxido de alumínio 150 µm após limpeza com álcool etílico ; elétrons secundários (a); elétrons retroespalhados	

(b), aumento 500 X (MEV).	49
Figura 23 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H ₂ SO ₄ e HCl por 30 seg; aumento 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).	50
Figura 24 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H ₂ SO ₄ e HCl por 60 seg; aumento 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).	51
Figura 25 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H ₂ SO ₄ e HCl por 2min; aumento 500 X (a); (b) e 1000 X (c) (MEV).	51
Figura 26 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H ₂ SO ₄ e HCl por 5min; aumento 500 X (a); (b) e 1000 X (c) (MEV).	51
Figura 27 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico; aumento de 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).	52
Figura 28 – Fotografia do fio ortodôntico com recobrimento de Araldite.	53
Figura 29 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento de <i>Solidex</i> , aumento de 5X (a) e 10X (b) (MO).	53
Figura 30 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento de <i>Solidex</i> , aumento 20 X (MO).	54
Figura 31 - Micrografia estereoscópica do fio de NiTi recoberto por resina epoxídica através do processo da eletrostática do pó, aumento 50X	54
Figura 32 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento feito por eletrostática do pó, aumento do 5 X (a) e 10X (b) MO.	55
Figura 33 - Micrografia estereoscópica do fio da Morelli recoberto com epóxi, aumento de 63 X (a) e 50 X (b).	56
Figura 34 - Micrografia eletrônica do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X (a); 500 X (b) e 1000 X (c).	56
Figura 35 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto com resina	

epoxídica, aumento de 63 X.	57
Figura 36 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto com resina epoxídica (região rugosa), aumento de 40 X.	57
Figura 37 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 50 X (a); 500 X (b); 1000 X (c) (MEV).	57
Figura 38 – Micrografia do Braquete aço Morelli 21 X (a); Braquete Cerâmico MXi 22X (b); Braquete Cerâmico Mystique 24 X (c) (MEV).....	58
Figura 39 – Micrografia da superfície do slot do braquete aço inoxidável Morelli com aumento de 1000 X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).	59
Figura 40 - Micrografia da superfície do slot do braquete cerâmico MXi com aumento de 1000 X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).....	59
Figura 41 - Micrografia da superfície do slot do braquete cerâmico Mystique com aumento de 1000X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).	59
Figura 42 – Micrografia estereoscópica da ligadura TP, aumento 30 X (a) e 63 X (b). 60	
Figura 43 – Micrografia estereoscópica da ligadura Morelli, aumento 30 X (a) e 63 X (b).	61
Figura 44 - Micrografia da ligadura Morelli 500 X (a); 1000 X (b) e ligadura TP 500 X (c); 1000 X (d) (MEV).	61
Figura 45 – Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete aço Morelli... 63	
Figura 46 - Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete cerâmico MXi.	64
Figura 47 - Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete cerâmico Mystique.....	65
Figura 48 – Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto; aumento de 20 X (a);	

40 X (b) após o ensaio.....	67
Figura 49 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto; aumento de 40 X após o ensaio.....	67
Figura 50 - Micrografia estereoscópica do fio da Morelli recoberto; aumento de 50 X com pequena região sem recobrimento após o ensaio.....	67
Figura 51 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 50 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).	68
Figura 52 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 200 X (a) e 1000 X (b) após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).	68
Figura 53 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).	69
Figura 54 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 200 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).	69
Figura 55 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X mostrando falha do recobrimento Morelli (bolha) (MEV).	70
Figura 56 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 200 X mostrando falha do recobrimento Morelli (bolha) (MEV).	70
Figura 57 – Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de aço inoxidável Morelli.	71
Figura 58 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de cerâmica MXi.	72
Figura 59 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de cerâmica Mystique.	72
Figura 60 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para todos os braquetes analisados.....	72

Figura 61 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de aço inoxidável Morelli	75
Figura 62 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de aço inoxidável Morelli.	76
Figura 63 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de aço inoxidável Morelli.	76
Figura 64 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica MXi	77
Figura 65 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ambiente (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica MXi.....	78
Figura 66 -Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de cerâmica MXi.....	79
Figura 67 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica Mystique.	79
Figura 68 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4) X ambiente (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica Mystique.....	80
Figura 69 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de cerâmica Mystique.....	81
Figura 70 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambiente	

(eixo y) seco (1) e saliva (2) em todos os braquetes analisados.....	82
Figura 71 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em todos os braquetes analisados.	82
Figura 72 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em todos os braquetes analisados.	83
Figura 73 -Gráfico dos braquetes (eixo x) aço inoxidável Morelli (1), MXi (2), Mystique (3) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2).	83
Figura 74 - Gráfico dos braquete (eixo x) aço inoxidável (1), MXi (2),Mystique (3) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2).....	84
Figura 75 - Gráfico dos braquetes (eixo x) aço inoxidável (1), MXi (2), Mystique (3) versus fios (eixo y) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4). 84	

1 INTRODUÇÃO:

Atualmente, durante o tratamento ortodôntico, existe uma preocupação com a estética. Porém, os acessórios estéticos usados no tratamento precisam conservar as propriedades mecânicas ideais necessárias. As peças usadas não podem falhar durante a função desempenhada em favor da estética.

A estética tem sido uma expectativa principalmente no tratamento de pacientes adultos. Com isso, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas nesta área. Os fabricantes almejam desenvolver um braquete que, principalmente, seja resistente à fratura e com a canaleta (*slot*) livre de rugosidades, as quais retardariam a mecânica de deslizamento no tratamento clínico ortodôntico.

Além dos braquetes serem alvos de modificações, as ligas dos fios e as ligaduras elastoméricas, que prendem os fios aos braquetes, também podem ser submetidas a alterações. Isto se deve à influência destes itens, componentes do sistema que promove fisicamente a movimentação dentária, no coeficiente de fricção.

Por estes motivos, na revisão bibliográfica, é necessário mostrar a relação existente entre os diferentes braquetes, as ligas dos fios e as ligaduras elastoméricas com o coeficiente de atrito. Além disso, é preciso conhecer as interações dos parâmetros envolvidos para que seja possível sugerir modificações nos fios, como, por exemplo, recobrimentos, que serão avaliados na parte experimental. Estas modificações têm por finalidade alterar a aparência estética do fio ortodôntico de NiTi, porém sem prejudicar a mecânica de deslizamento do tratamento. Fez-se a análise da força de atrito, pois uma das maiores preocupações é conseguir uma superfície do fio ortodôntico recoberto que proporcione o menor coeficiente de atrito, juntamente com os acessórios supracitados. Além disso, os fios com recobrimento apresentam a vantagem estética.

2 REVISÃO DE LITERATURA:

2.1 Coeficiente de Atrito:

No tratamento ortodôntico, é preciso entender a influência do atrito entre os braquetes e os fios durante a aplicação da força apropriada, para se obter a resposta do tecido biológico com o conseqüente movimento adequado do dente durante a mecânica de deslizamento. Nesta fase do tratamento, pode ser exigido um aumento da magnitude da força aplicada, a fim de superar a resistência ao atrito na interface braquete-fio (ANGOLKAR et al, 1990). O atrito é um parâmetro que deve ser considerado, quando o movimento dentário é desejado. Minimizando a força de fricção que se opõe à iniciação e manutenção do movimento dentário, a mecânica de movimento poderá ser mais eficiente (SAUNDERS, 1994).

O atrito pode ser definido como a força que retarda ou resiste à movimentação de dois objetos em contato, e sua direção é tangencial a uma interface comum de duas superfícies (BEDNAR et al, 1991; OMANA et al, 1992). A força de atrito (F_{fr}) entre duas superfícies corrediças é diretamente proporcional à força (F) com que as superfícies são pressionadas $F_{fr} = \mu \times F$. O valor de μ (o coeficiente de atrito) depende dos materiais que estão deslizando e é ligeiramente afetado também através de outros fatores como: velocidade ou a área de contato entre as superfícies (BEDNAR et al, 1991). Esta força pode ser representada de duas formas:

(1) estática, a qual dificulta o início do movimento, é a menor força necessária para começar o movimento de objetos sólidos que estavam previamente em repouso;

(2) cinética (dinâmica), a qual ocorre durante o deslocamento do objeto, é a força que resiste ao movimento corrediço de um objeto sólido em contato com outro a uma velocidade constante (FRANK e NIKOLAI, 1980; PROSOSKI et al, 1991;

OMANA et al, 1992).

Em ortodontia, a movimentação dentária depende mais do atrito estático do que do atrito dinâmico (OMANA et al, 1992). Alta resistência à fricção nos aparelhos ortodônticos fixos é indesejável pela maioria dos clínicos, uma vez que, esta resistência é considerada como impedimento para a movimentação dentária. SCHWARTZ (1932) propôs que as forças ortodônticas não deveriam exceder a pressão sanguínea capilar no ligamento periodontal, que seria em torno de 20 a 26 g./cm² de superfície, que corresponde de 15 a 20 mm.Hg. Excedendo esta força, o efeito biológico seria a reabsorção da raiz dentária, além de provocar necrose nos tecidos ósseos vizinhos.

STOREY e SMITH (1852) desenvolveram o conceito de força ótima requerida para obter o máximo movimento dentário que acontece devido à reabsorção óssea causada por esta força. Esta pressão determina a redução do suprimento sanguíneo, o que ocasiona a morte celular e, conseqüentemente, a reabsorção óssea da região entre o osso e a membrana peridental, onde está a pressão. Uma revisão crítica de algumas destas hipóteses foi provida por QUINN e YOSHIKAWA, 1985. Estes autores concluíram que a taxa de movimento aumenta até certo ponto e, doravante, o aumento da força não resultará mais em nenhuma modificação na movimentação dentária, pois a taxa de reabsorção decresce (STOREY e SMITH, 1852). Os ortodontistas precisam saber o nível da força necessária para superar a fricção e produzir uma ótima resposta biológica durante a movimentação dentária (ANGOLKAR et al, 1990). Para superar esta fricção, os ortodontistas devem levar em consideração os tipos de materiais envolvidos na formação do sistema de deslizamento braquete-fio-ligadura, uma vez que eles influenciam na força de atrito.

O recente advento de braquetes cerâmicos, os quais têm a vantagem de

apresentar coloração bastante similar ao dente, porém elevada fricção, aumentou a demanda por um melhor entendimento das forças de fricção envolvidas no sistema ortodôntico. (ANGOLKAR et al, 1990). Além disso, deve-se levar em consideração o tipo de fio ortodôntico que será usado com o braquete em questão, ou seja, tipo de liga, dimensões e a existência ou não do recobrimento deste fio. A qualidade de um recobrimento do fio ortodôntico deve ser levada em consideração, principalmente quando a tendência atual é a do uso de fios e braquetes cerâmicos estéticos, conseguindo-se assim uma aparência natural no tratamento ortodôntico. A força friccional entre o fio e o braquete é reconhecida como um dos fatores prejudiciais e que afeta o movimento dentário durante a mecânica de deslizamento. É necessário um movimento ótimo para eliminar ou reduzir a fricção entre as superfícies (TANNE et al, 1994).

Alguns autores mencionaram variáveis que afetam a magnitude de fricção entre braquete-fio. Dentre elas podemos citar o material do braquete, a liga do fio, tamanho e forma do fio, material da ligadura (aço ou elastomérica), força da ligadura, tamanho do braquete e *slot* (canaleta), largura do braquete, angulação no braquete entre o fio e o *slot* (canaleta), e lubrificação feita pela saliva (ANGOLKAR et al, 1990; SAUNDERS e KUSY, 1994). A canaleta presente no braquete será denominada *slot* durante todo o corpo deste trabalho.

2.2 Material do Braquete:

Os braquetes cerâmicos possuem maior coeficiente de fricção (SAUNDERS e KUSY, 1994; TANNE et al, 1994; KARAMOUZOS et al, 1997). Devido ao processo de fabricação, é esperado que o monocristalino resulte em coeficiente de fricção menor do que o policristalino, uma vez que a superfície do *slot* é mais lisa (KARAMOUZOS et

al, 1997). Os braquetes de aço inoxidável apresentam menor coeficiente de fricção comparados aos braquetes cerâmicos. Isto pode ser claramente observado no histograma da Figura 1, o qual mostra a força de atrito medida em gramas para três sistemas braquete-fio na presença de saliva artificial. São eles: braquete de aço inoxidável (Unitek), braquete cerâmico Allure (GAC Internacional), braquete cerâmico Transcende (Unitek), juntamente com fio ortodôntico retangular de 0,017”por 0,022” de nitinol (Unitek) e de aço inoxidável (Unitek). Não foi encontrada diferença significativa entre as duas marcas de braquetes cerâmicos (KARAMOUZOS et al, 1997).

A diferença na força de atrito entre os sistemas seria devido à presença de rugosidades na superfície do slot do braquete e na superfície do fio de nitinol (PRATTEN et al, 1990; KARAMOUZOS et al, 1997). Por intermédio de micrografias eletrônicas é possível avaliar a superfície de um material e observar sua relação qualitativa com a força de atrito. A Figura 2 ilustra a aparência de um *slot* de braquete de aço inoxidável (a e c) e um cerâmico (b e d) (ANGOLKAR et al, 1990). Pode-se observar a presença de aspereza na interface dos braquetes, o que pode reduzir a velocidade de deslizamento do arco pelo *slot* (GHAFARI, 1992).

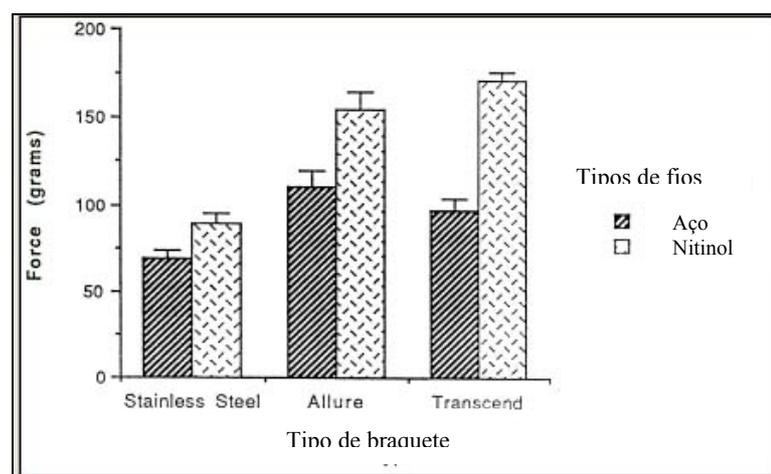


Figura 1 – Histograma da resistência ficcional em gramas de três sistemas de braquete-fio na presença de saliva artificial (KARAMOUZOS et al, 1997).

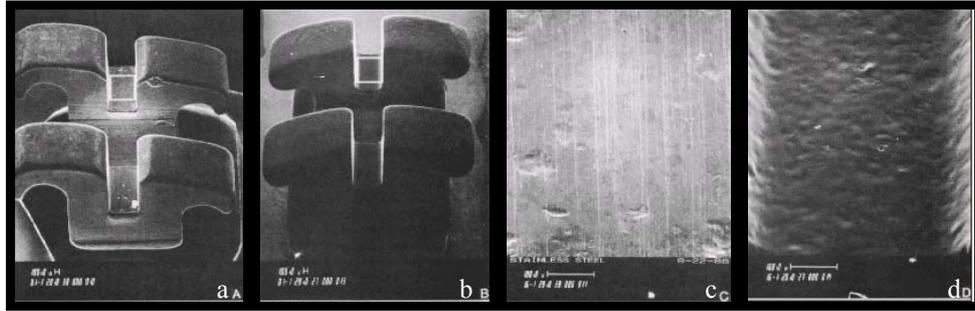


Figura 2 - Micrografias eletrônicas: (a) braquetes aço inoxidável e (b) cerâmico com aumento de 20 X; (c) *slot* aço inoxidável e (d) *slot* cerâmico mostrados com aumento de 160 X (ANGOLKAR et al, 1990).

Muitos autores confirmam que os maiores valores de fricção observados para os braquetes cerâmicos em comparação aos metálicos independe do tamanho do *slot* (ANGOLKAR et al, 1990; BEDNAR et al, 1991; OMANA et al, 1992), o que sugere que esta diferença pode ser explicada pelas características da superfície do *slot*. No entanto, vale ressaltar que a dimensão do fio ortodôntico tem que ser considerada. Os fios mais espessos geram maiores atritos na superfície do *slot* e, se essa superfície for irregular, o atrito será maior, comparado ao que ocorre em uma superfície sem grandes irregularidades.

Na comparação das superfícies dos *slots* cerâmicos monocristalinos e policristalinos, observa-se que os materiais monocristalinos apresentam menos ranhuras na superfície. Vê-se na Figura 3 a micrografia de seis braquetes cerâmicos de diferentes marcas. A Figura 3a corresponde ao braquete monocristalino. Já nos braquetes policristalinos mostrados nas Figuras 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, a rugosidade na superfície é bastante evidente. Supõe-se que ela seja causada pelo arrancamento de partículas de alumina, presumivelmente como consequência do processo de usinagem. (SAUNDERS e KUSY, 1994).

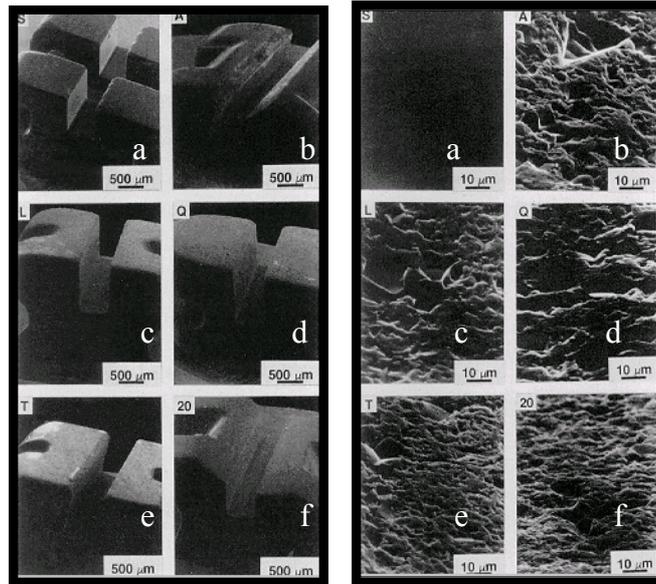


Figura 3 - Micrografias eletrônicas de *slots* em seis braquetes cerâmicos populares: (a) Starfire, (b) Allure III, (c) Lumina, (d) Quasar, (e) Transcend, (f) 20/20 (SAUNDERS e KUSY, 1994).

O método de fabricação do braquete é também um fator importante para a determinação do acabamento da superfície do *slot*. Sabe-se que o refinamento da superfície do *slot* pode efetivamente reduzir a fricção. Pode-se observar o acabamento da superfície de um *slot* na Figura 4a, que apresenta superfície lisa em relação aos *slots* das Figuras 4b e 4c, onde há rugosidades e perda de material.

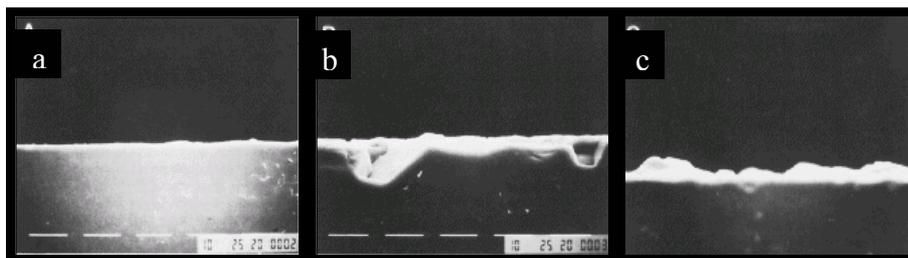


Figura 4 - Micrografias eletrônicas da seção longitudinal da superfície do *slot* de três braquetes. As barras brancas nas micrografias indicam 100 μm: (a) novo braquete cerâmico; (b) braquete de alumina policristalino; (c) braquete de óxido de zircônio (TANNE et al, 1994).

O processamento por injeção permite a obtenção de peças de formatos complexos sem a necessidade de acabamento por usinagem, o que evita arrancamento de partículas e marcas de ferramenta, favorecendo o deslizamento com uma menor

força de fricção. Um bom exemplo são os braquetes cerâmicos *MXi (MAXIMUM INTEGRITY)* da *TP Orthodontics* que, segundo o fabricante, possuem bordas arredondadas e uma superfície mais uniforme que as dos braquetes usinados. O fabricante relata que, comparativamente, o braquete *MXi*, moldado por injeção (<http://www.tportho.com>), promove menor força de atrito em relação aos braquetes cerâmicos elaborados por usinagem. Os braquetes são injetados a partir de uma suspensão de partículas finas, resultando em um material de alta densidade que reduz o número de concentradores de tensões, uma vez que a superfície é significativamente menos rugosa. Além disso, este tipo de processamento torna o braquete uma peça com excepcional resistência, segundo o fabricante (BORDEAUX et al, 1994; OMANA, 1992).

Além disso, o fabricante relata que a moldagem por injeção produz peças que proporcionam a mesma mecânica de deslize e de baixa fricção que os braquetes de metal determinam.

2.3 Fios Ortodônticos:

Em relação às forças de atrito, além do tipo de material do braquete, devemos levar em consideração o tipo de liga do fio ortodôntico. Dentre os fios ortodônticos mais usados, podemos citar o beta-titânio (β -Ti) e o de níquel-titânio (NiTi), os quais possuem forças de atrito mais altas (KUSY e WHITLEY, 1990; SAUNDERS e KUSY, 1994; KARAMOUZOS, 1997) do que os fios de aço inoxidável e os fios de cromo-cobalto (CrCo) (VAUGHAN, 1995; BAZAKIDOU, 1997; KARAMOUZOS, 1997). Estas tendências são também observadas em braquetes de aço inoxidável.

A diferença de resistência à fricção mostrada por estes fios, em combinação com braquetes de aço inoxidável e braquetes cerâmicos, pode ser atribuída à maior

rugosidade de superfície dos fios β -Ti e NiTi comparada aos fios de aço inoxidável e CoCr (PRATTEN et al, 1990), como confirmado por estudos que avaliaram a superfície deles (GARNER et al 1986; KUSY et al, 1988). GARNER et al (1986) avaliou a superfície dos fios de aço inoxidável, NiTi, β -Ti por MEV e concluiu que, em ordem crescente de rugosidade, estariam os fios de aço inoxidável, NiTi e finalmente o de β -Ti. KUSY et al (1988) avaliaram a rugosidade superficial dos fios por meio de refletância, que é um método ótico baseado em espectroscopia a laser, e constatou que, de acordo com o ângulo de incidência do feixe, a rugosidade superficial varia consideravelmente. Entretanto, segundo esta avaliação, foi concluído que em ordem crescente de rugosidade estariam o fio de aço inoxidável, o CoCr, o β -Ti e finalmente o NiTi.

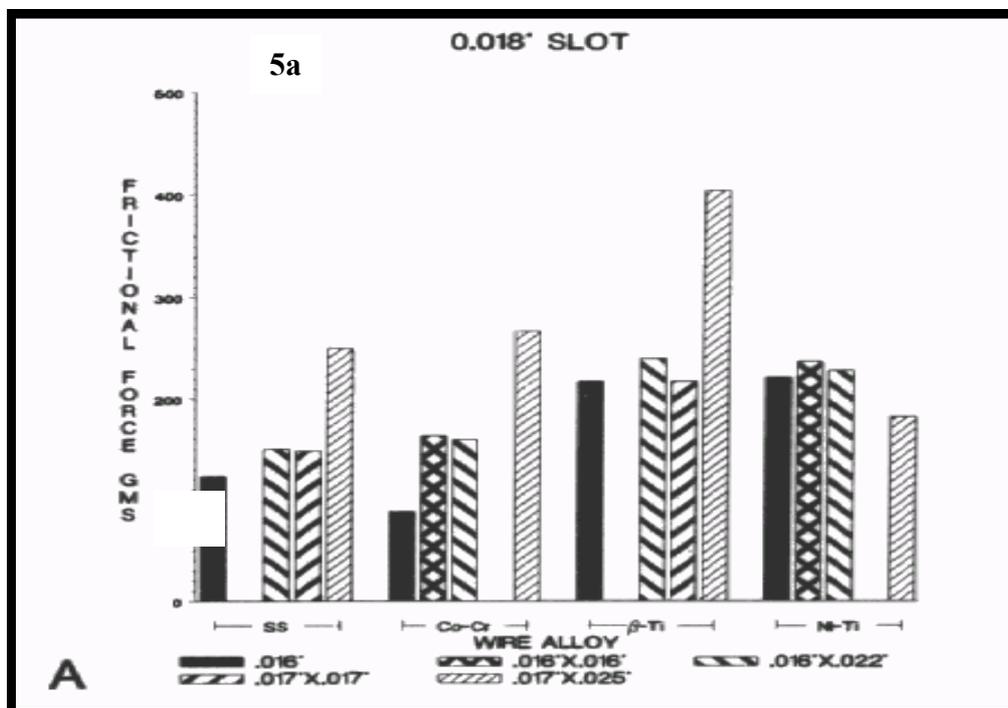
Existem algumas controvérsias em relação à influência da rugosidade superficial na fricção, pois alguns autores relatam que a presença de uma camada de óxido ou a lubrificação intrínseca pode exercer maior influência na fricção do que a rugosidade da superfície (PRATTEN et al, 1990).

Atualmente, dentre as ligas citadas acima, o NiTi tem sido muito usado devido a suas propriedades como liga de memória de forma, apesar de possuir, segundo a literatura, uma superfície rugosa que gera uma fricção mais alta em relação, por exemplo, ao fio de aço inoxidável. A liga de NiTi pode ser dividida em três tipos: liga convencional e duas ligas pseudoelásticas, que seriam a superelástica e uma liga termoelástica. Cada tipo de liga tem propriedades específicas que, dependendo da fase do tratamento ortodôntico, terá sua indicação apropriada. Na realidade, várias propriedades e características deveriam ser consideradas na procura do arco ideal. Entre elas estão: a estética, a biocompatibilidade, a fricção, a formabilidade, a soldabilidade e a resiliência. Atualmente, nenhum fio possui todas as funções de forma satisfatória

(KUSY, 1997).

Uma vez que existem braquetes estéticos, os arcos também deveriam seguir a mesma característica. Nenhum arco atualmente conhece este critério, embora os fabricantes tentem transformá-lo em fio estético. Os arcos resultantes dessas tentativas apresentam propriedades mecânicas não satisfatórias, além de sofrerem a ação mastigatória e enzimática da cavidade oral. Embora a estética seja almejada cada vez mais pelos pacientes, a função que o arco desempenha é suprema. Somente será aceito o arco estético que mantiver as demais propriedades de forma adequada (KUSY, 1997).

Em relação à espessura dos fios, a fricção entre braquete-fio demonstrou ser maior com fios mais espessos, além do fato dos fios redondos apresentarem menor fricção que os fios retangulares, como mostra os histogramas das Figuras 5 (a e b) (ANGOLKAR et al, 1990).



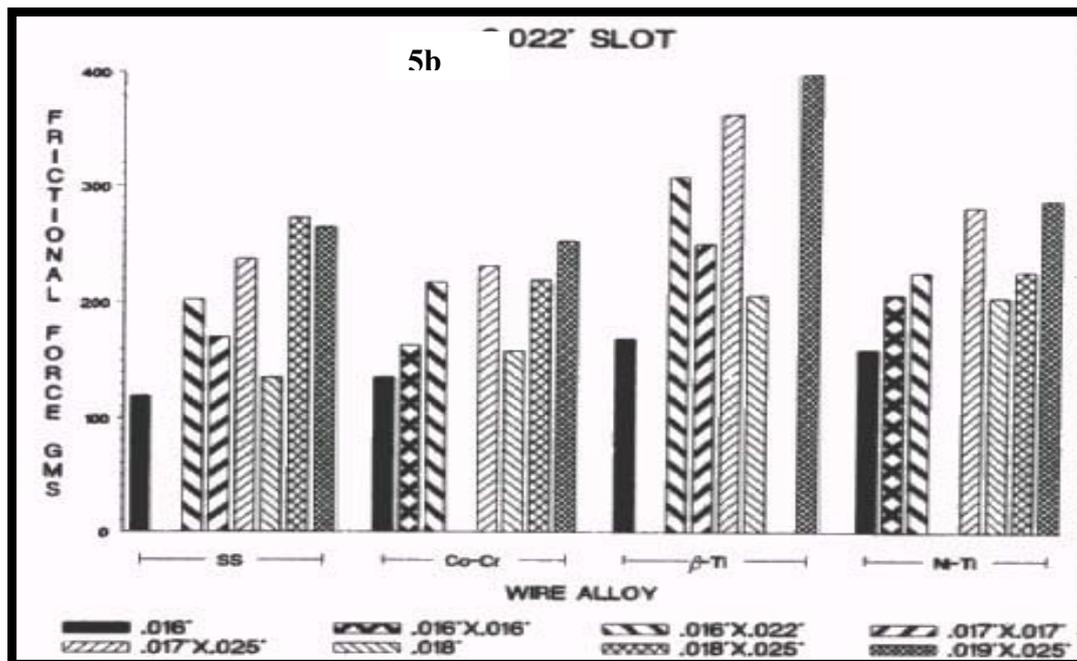


Figura 5 – Histograma da força de fricção produzida por arcos de espessuras diferentes para vários tipos de liga em slots cerâmicos de 0.018" (a) e de 0.022" (b) (ANGOLKAR et al,1990).

2.4 Tipo de Ligaduras:

Os fios são fixados ao braquete por meio de uma ligadura que pode ser metálica, elastomérica ou elastomérica com recobrimento. Alguns autores demonstraram que as ligaduras metálicas (amarrilho), exemplificada na Figura 6 a, produzem menor atrito que as ligaduras elastoméricas. No entanto, a força gerada durante a colocação da ligadura metálica é subjetiva e pode variar de acordo com o ortodontista (BEDNAR et al, 1991; OMANA et al, 1992). Outros pesquisadores afirmam que a tensão produzida pelas ligaduras metálicas pode causar fratura nos braquetes cerâmicos (SWARTZ, 1988). Existem ainda estudos não conclusivos sobre qual dos dois tipos de amarração produz maior atrito (BAZAKIDOU et al, 1997). Uma alternativa entre as ligaduras metálicas são os fios recobertos por *Teflon*[®], que produziriam coeficientes de atrito menores do que as ligaduras elastoméricas (FRANCO et al, 1995).

Já o problema associado às ligaduras elastoméricas é a perda de força de

amarração com o tempo de uso, o que pode influenciar os valores do atrito (TAYLOR e ISON, 1996). A ligadura elastomérica é mostrada na Figura 6 b.

Existe ainda um tipo de braquete que possui ligação própria (*self-ligating*), mostrado na Figura 7, o qual produz menores valores de fricção estática (SHIVAPUJA e BERGER,1994).

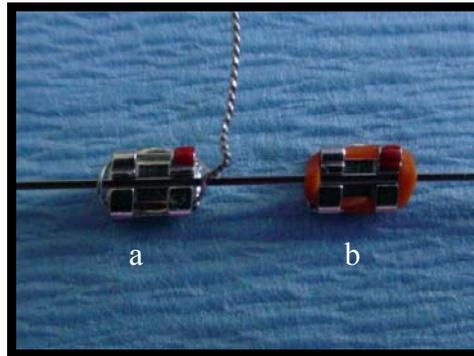


Figura 6 - Ligaduras de aço (a) e elastomérica (b).

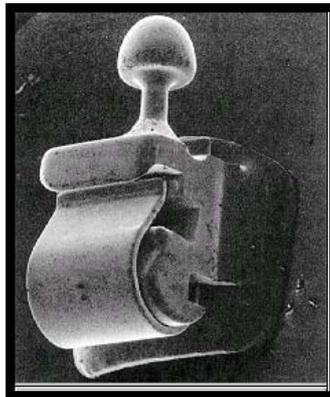


Figura 7 - Braquetes com ligação própria (SHIVAPUJA e BERGER, 1994).

As ligaduras elastoméricas transparentes são muito usadas com os braquetes cerâmicos para maximizar a estética. Infelizmente, hoje, as ligaduras disponíveis sofrem alteração na cor além de mancharem com frequência. Por exemplo, mostarda pode transformar uma ligadura clara em um amarelo luminoso, quase fluorescente.

Em virtude disto, surgiram no mercado ligaduras desenvolvidas a partir de uma tecnologia chamada *metafasix*, a qual não é descrita pelo fabricante. Estas são as

ligaduras chamadas *Super Slick*, da *TP Orthodontics*, que são recobertas por uma camada de polímero avançado. Há mais de 20 anos este tipo de tecnologia tem sido muito usada na indústria médica do mundo inteiro. (<http://www.tportho.com>).

Pesquisas feitas pelo fabricante revelam uma redução de mais de 70% da fricção entre o fio ortodôntico e a ligadura *Super Slick*, cujo formato original é mantido devido a sua boa recuperação elástica, exemplificada na Figura 8 (<http://www.tportho.com>).

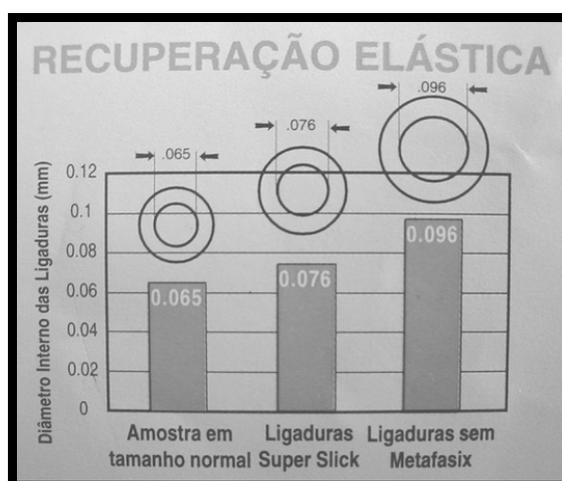


Figura 8 - Comparação da recuperação elástica das ligaduras com e sem *metafasix*.

2.5 Influência do Meio no Coeficiente de Atrito:

Embora estudos prévios dos braquetes de aço inoxidável tenham mostrado que muitos parâmetros afetam o atrito no movimento ortodôntico, a influência do ambiente (presença de saliva) parece ser controversa.

A composição da saliva também parece importante em relação aos resultados dos valores de força de atrito obtidos com os braquetes cerâmicos. Em saliva artificial, relata-se que ocorre um aumento do coeficiente de atrito em comparação com a saliva humana, ambiente no qual ele decresce (SAUNDERS e KUSY, 1994; STANNARD et al, 1986; BAKER et al, 1987). Os coeficientes de atrito estático e cinético

variam não só na presença ou não de saliva mas também em função do material do fio ortodôntico nos braquetes cerâmicos. No estado seco, todas as ligas são significativamente diferentes; em saliva humana, somente o arco de β -Ti é significativamente diferente. Ademais, ele é o fio que possui o coeficiente de atrito mais alto. No estado úmido, a saliva reduz significativamente o atrito, sobretudo entre as ligas de titânio, como pode ser observado na Figura 9 (SAUNDERS e KUSY, 1994).

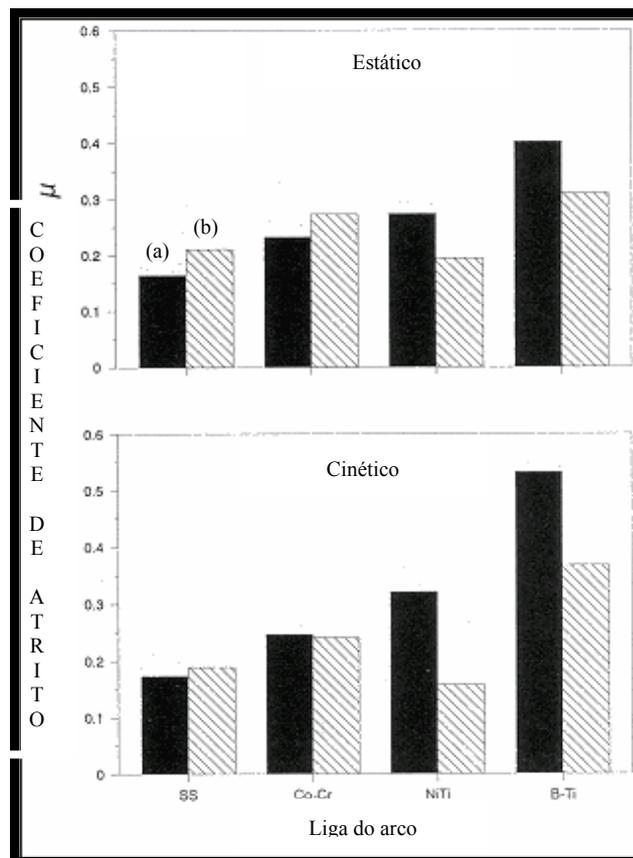


Figura 9 - Comparação entre os coeficientes de atrito estático e cinético, em função da liga do arco em braquetes cerâmicos e na ausência (a) ou presença de saliva (b) (SAUNDERS e KUSY, 1994).

KUSY et al (1991) relatam que existe uma redução no coeficiente de atrito na presença de saliva, porém os braquetes de cerâmica sempre possuem os coeficientes mais elevados, seja o estático ou o cinético. Em relação aos fios, ele afirma que o β -Ti sofre uma redução de até 50% do coeficiente cinético quando está na presença de saliva (STANNARD et al, 1986).

2.6 Recobrimentos nos Fios Ortodônticos:

A utilização de recobrimentos poliméricos em fios ortodônticos pode proporcionar, além de soluções esteticamente desejadas, uma diminuição da rugosidade superficial, favorecendo a mecânica de deslizamento. Na ortodontia, têm-se encontrado fios com recobrimentos de resina epoxídica, *Teflon*[®] e polietileno, mas poucas pesquisas demonstram sua efetividade na diminuição das forças de fricção.

O fio recoberto com resina epoxídica oferece estética, resiste à deformação e possui uma aparência natural. No entanto, precisa-se desenvolver uma boa técnica de aderência para que o recobrimento não descole com a mecânica de deslize.

Os arcos de NiTi (superelástico) ou aço inoxidável revestidos com resina epoxídica oferecem estética e baixa fricção quando utilizados com os braquetes estéticos. Suas principais vantagens são: resistência, estabilidade de cor e manutenção das qualidades superelásticas (<http://www.dentalpress.com.br/revista/1998/janfev98/produto.htm>).

Já o *Teflon*[®] ou politetrafluoroetileno – PTFE é um polímero fluoretado com baixa tensão superficial, quimicamente inerte, com elevada resistência oxidativa e térmica. Ele é amplamente usado por produzir baixo coeficiente de fricção (<http://www.caflon.com.br/>). Existem poucas pesquisas que comprovem sua efetividade como recobrimento de fios ortodônticos usados na cavidade oral (HUSMANN et al, 2002).

2.6.1 Aplicação dos Recobrimentos:

No recobrimento descrito por HUSMANN et al (2002) foi realizada, primeiramente, a limpeza da superfície do fio de NiTi por tratamento de plasma com oxigênio. Os átomos de titânio combinam com o oxigênio e formam óxido de titânio, que melhora as características de deslizamento do fio. Depois disto, foi

realizada a deposição sobre o substrato do etileno pelo processo de ionização, formando o recobrimento de polietileno. Esta precipitação ocorre primeiramente nas depressões e nas rugosidades, determinando uma superfície lisa. Tal superfície ocasiona um impacto positivo nas propriedades corrosivas. Também realizado por atomização, o recobrimento de *Teflon*[®] apresentava uma camada de espessura de 20-25 µm e era da cor do dente. Depois de aquecida, a camada de recobrimento aparentou uma superfície fina, bem aderida ao substrato, proporcionando excelentes propriedades de deslizamento.

HUSMANN et al (2002) concluíram que houve uma redução da força friccional nos fios de NiTi após o tratamento com oxigênio (implantação de íon) ou após o recobrimento com polietileno, em comparação aos fios do mesmo fabricante que não foram submetidos àqueles processos. Eles usaram braquete de aço inoxidável com slot 0,018’’ e 0,020’’ e ligadura de aço para compor o sistema de deslizamento. No entanto, tiveram algumas dificuldades na deposição do etileno durante o processo de plasma, principalmente devido ao posicionamento do substrato. Os fios com recobrimento de *Teflon*[®] produziram menores valores e melhores efeitos com relação à fricção. Todos os recobrimentos melhoraram as características de fricção.

Uma outra forma mais conveniente de aplicação de recobrimentos em fios ortodônticos é a pulverização eletrostática, que impulsionou o rápido desenvolvimento das tintas em pó termoconvertíveis. A pulverização eletrostática de pós é influenciada pelas diferentes propriedades dos mesmos, tais como: tamanho e forma das partículas, resistividade da superfície e composição química do pó. A eficiência da deposição sobre uma superfície depende da carga eletrostática adquirida pelas partículas, da velocidade da corrente de ar usada na pulverização e da distância que as partículas têm de

percorrer. O tamanho e a forma do objeto a ser pintado, a espessura e a resistividade da superfície deste objeto, a velocidade do ar devido à exaustão na cabine de pintura são outras variáveis que também afetam a eficiência da deposição da tinta. Ademais, há vários aspectos importantes na deposição eletrostática de pós entre os quais podem ser mencionados:

- As partículas esféricas aceitam mais rapidamente a carga elétrica do que as de forma irregular;
- As partículas maiores, por se eletrizarem mais eficientemente do que as menores, depositam-se mais rapidamente na superfície a ser pintada;
- As tintas em pó mais comuns têm uma alta resistividade. Apresentam o fenômeno da autolimitação, que é a espessura máxima que se pode obter durante a aplicação, acima da qual não há deposição eletrostática de novas partículas; esta espessura máxima é normalmente superior às espessuras comercialmente requeridas (<http://www.isolucks.com.br/processo.htm>).

O recobrimento polimérico em fios ortodônticos não é ainda comercialmente difundido. Em virtude da mecânica ortodôntica, diversas dobras, muitas vezes, são feitas no fio de aço inoxidável. Se o fio ortodôntico estiver recoberto, poderá haver formação de microfissuras e até remoção deste recobrimento devido ao *stress* causado na película polimérica nas regiões onde é aplicada a força necessária para confeccioná-las. Além disso, pode haver também diferença na deformação entre os materiais ou presença de falha adesiva entre o fio e o recobrimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS:

Para avaliação da força de atrito, foram utilizados os seguintes braquetes com *slot* 0,022” de pré-molar superior :

- Aço inoxidável *Standard* sistema *Roth*, (cód 10.10.208 Morelli ortodontia, São Paulo-Brasil);
- Cerâmico MXi *Advant-Edge* sistema *Roth* (cód 298-102 *TP Orthodontics, EUA*);
- Cerâmico MYSTIQUE sistema *Roth* (ref 00-242-00 GAC).

Foram utilizados segmentos de fios metálicos redondos de 50mm de comprimento e 0,40 mm (0,016 pol) de diâmetro com as seguintes especificações:

- Aço inoxidável (Morelli ortodontia, São Paulo-Brasil), utilizado como referência;
- NiTi superelástico com 58% de Ni e o restante de Ti (Morelli ortodontia, São Paulo-Brasil). Valores fornecidos pela fábrica;
- NiTi superelástico com 58% de Ni e o restante de Ti (Morelli ortodontia, São Paulo-Brasil) recobertos com tinta epoxídica *Tiger-89/10210*, em parceria com o laboratório da Morelli;
- NiTi recobertos com resina epoxídica (GAC), existente no mercado.

Cada fio foi preso ao braquete por meio de ligaduras elastoméricas de dois fabricantes: Morelli e *metafasix*, da *TP Orthodontics*. Para isso utilizou-se um instrumento com ponta colocadora e extratora de ligadura.

3.1 Métodos de Aplicação do Recobrimento:

Para este trabalho, optou-se por recobrir os fios ortodônticos de NiTi, visto que este material é utilizado principalmente nas primeiras etapas de tratamento, onde

alinhar e nivelar os elementos dentários são prioridades. Neste fio não são feitas dobras com a finalidade de movimentação dentária, pois esta liga apresenta deflexão e o efeito memória de forma, que a faz retornar a sua forma original após a deformação.

3.1.1 Preparação Mecânica da Superfície do Fio NiTi :

No preparo mecânico da superfície, os fios de NiTi originais (Morelli) foram jateados em um equipamento EDG-equipamentos Multijet III, com óxido de alumínio de diferentes granulações (250 μm -grosso, de 150 μm -médio e de 45 μm -fino), para obtenção de superfícies com diferentes rugosidades.

Além da avaliação topográfica da superfície do fio ortodôntico antes e após o jateamento, analisou-se a presença de partículas de óxido de alumínio na superfície, através da observação no MEV operado com elétrons retroespalhados. Constatada a presença das partículas de óxido de alumínio, colocaram-se algumas amostras em álcool etílico e peróxido de hidrogênio na tentativa de remover tais partículas.

3.1.2 Métodos de Recobrimento após Preparação Mecânica da Superfície:

Após a preparação mecânica da superfície, os fios foram recobertos com diferentes técnicas e materiais. Como primeira tentativa, utilizou-se Araldite Huntsman aplicada por técnica de imersão, que consiste simplesmente em imergir o objeto a ser recoberto na solução desejada. A solução foi realizada na proporção de 100 partes de Araldite CY 221 mais 20 partes de catalisador HY 956. Além disso, adicionou-se o corante branco DW 131 com proporções variadas. Observou-se neste caso que a baixa molhabilidade da solução de Araldite na superfície de NiTi jateada resultou em recobrimentos de baixa qualidade. Portanto, este método foi abandonado.

Em uma segunda tentativa, utilizou-se um material opaco resinoso do

sistema *Solidex*, que é um sistema de resina composta com carga cerâmica, aplicado com pincel sobre a superfície previamente jateada. Após a aplicação, o fio recoberto foi levado a um forno de polimerização por 7min.

Finalmente, o terceiro método empregado foi a aplicação da tinta epoxídica Tiger -89/10210 (branco ral. 9003, liso brilhante híbrido, tempo de cura 15 min a 160°C), via eletrostática do pó realizado pela fábrica Morelli sobre o fio ortodôntico, após ter sido feito o jateamento com o óxido de alumínio de 150 µm. A tinta epoxídica Tiger possui certificado de qualidade atestando que o produto é atóxico, isento de metais pesados, o que revela a biocompatibilidade com os tecidos bucais.

3.1.3 Preparação da Superfície do Fio NiTi por Soluções Químicas:

Para o preparo da superfície, utilizou-se também ataque químico em solução aquosa de uma mistura de ácido sulfúrico 48% com ácido clorídrico 18% a 55°C (VANZILLOTTA, 2003). Neste caso variou-se o tempo de imersão entre 30 seg, 60 seg, 2 min e 5 min. Após a imersão, os fios foram secados com papel absorvente e armazenados em recipientes para serem posteriormente analisados no MEV, no mesmo dia em que foi realizado o ataque químico, evitando-se assim a oxidação da superfície.

Na fábrica Morelli, foi realizada a preparação da superfície dos fios em solução aquosa, mistura de ácido fluorídrico a 4% com ácido nítrico a 15% em água destilada (em volume), a uma temperatura de 40°C ± 2°C, por aproximadamente 4 minutos. Em seguida, os fios foram lavados em água corrente e enxugados.

3.1.4 Métodos de Recobrimento após Preparação da Superfície com Solução Química:

O recobrimento a base de resina epoxídica foi aplicado na Morelli pela técnica

eletrostática do pó, com a utilização de um equipamento Navetherm, modelo CPN, série 01F. Com o processo eletrostático, os fios receberam a tinta pulverizada e depois foram colocados em um forno a 160°C por 15 min para a cura do recobrimento. Após a cura da tinta, a superfície do recobrimento foi analisada em MO.

Não foram utilizados os métodos de imersão e de pintura com o fio de superfície preparada quimicamente.

3.2 Caracterização dos Acessórios Ortodônticos:

Em função da complexidade do sistema de deslizamento, que é composto por três componentes (braquete, ligadura e fio), fez-se necessária a caracterização das superfícies de todos os componentes. Tal caracterização foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (ZEISS modelo DSM940A), microscopia ótica (MO) (Olympus/Japan, BY60M) e microscopia estereoscópica Nikon (SMZ800).

As ligaduras elastoméricas, braquetes cerâmicos e os fios recobertos foram metalizados com ouro para possibilitar sua avaliação em MEV.

Para a caracterização da espessura e aparência do recobrimento polimérico no sentido transversal, um segmento do fio foi embutido a frio em resina epoxídica. As amostras embutidas foram polidas com lixas d'água 100, 220, 320, 400, 500, 600 e alumina 1 (0.3µm) e 2 (1.0µm). Ao mudar a lixa, a angulação da amostra ia sendo alterada em 90°. Este procedimento proporciona um polimento uniforme sem arranhões.

3.3 Ensaios de Atrito:

O ensaio mecânico da fricção superficial foi realizado em uma máquina *EMIC* DL 10000, com célula de carga *EMIC* de 20 N (2,04 gf). Para a realização dos ensaios, tomou-se como base os experimentos realizados por NISHIO (2000): a forma de montagem da máquina, assim como o tipo de célula de carga a ser utilizada; e nos

ensaios de KEITH et al (1994), a forma de incluir a saliva nos experimentos.

Foi montado o seguinte sistema: em uma placa de aço inoxidável com 7,2 cm de comprimento, 3,1 cm de largura e 0,9 cm de altura, com três orifícios de 1,3 cm de diâmetro, foram colocados três cilindros giratórios com diâmetro de 1,3 cm para fixação dos braquetes. A utilização de cilindros giratórios é importante para minimizar problemas de alinhamento entre o braquete e o fio. Tal observação é válida porque esta característica dispensa a grande preocupação para se deixar o braquete com 0° de angulação ao colá-lo no cilindro. Qualquer angulação provocada por uma colagem inadequada é eliminada com o giro do cilindro. A placa com os cilindros giratórios é mostrada na Figura 10.

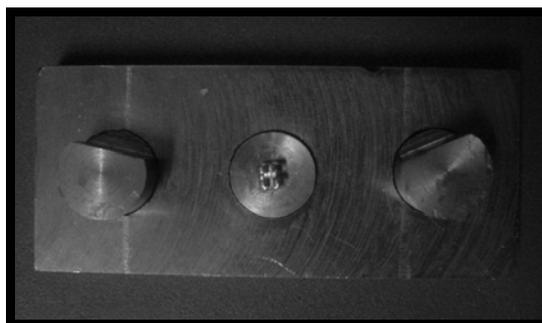


Figura 10 - Placa com os três cilindros giratórios.

Os braquetes foram colados com um adesivo instantâneo universal Super *Bonder* no centro do cilindro giratório, o qual foi posicionado na base metálica supracitada. A pinça de tração reversa ortodôntica de aço inoxidável (Morelli ortodontia, São Paulo-Brasil), foi usada para posicionar os braquetes na base no momento da colagem.

Os fios foram presos aos braquetes por meio das ligaduras elastoméricas que, por sua vez, foram colocadas com um aplicador inoxidável de amarrilho elástico com ponta colocadora e extratora de ligadura. A colocação foi manual. Cada fio ortodôntico foi preso à máquina *EMIC* por intermédio de um acessório com uma garra

regulável, conectado à célula de carga, como se vê nas Figuras 11 e 12. A placa com os cilindros foi presa a uma peça (mordente), que a deixou imóvel, a uma altura que permitiu prender o fio a ser testado no acessório com garra regulável da máquina *EMIC*.

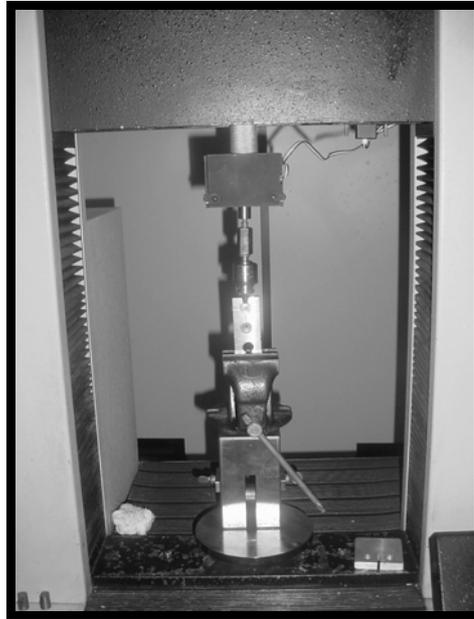


Figura 11- Sistema montado para realização dos testes na máquina *EMIC*;



Figura 12 - Placa com cilindro giratório onde é colado o braquete.

Primeiro uma ponta do fio ortodôntico foi preso à garra regulável, posicionado o mais retilíneo possível. Depois aproximou-se a placa para encaixar o fio ortodôntico no *slot*, sem provocar angulações. Concluído o encaixe, a ligadura foi colocada, constituindo-se desta forma o corpo-de-prova.

Os braquetes, os fios ortodônticos e as ligaduras elastoméricas formaram um sistema que foi então tracionado. A força máxima por deslocamento foi registrada em gf após o deslocamento da região reta do fio em 4mm com velocidade de 5mm/min. Estes resultados foram registrados pelo programa de computador operacional MTesc versão 1.01 (*EMIC*) e depois analisados estatisticamente. A cada tracionamento, uma região nova do fio de 50mm atritava sobre a superfície do braquete. Além disso, a ligadura foi trocada por outra nova a cada tracionamento subsequente, determinando um novo corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova ensaiados em saliva artificial, Biotene Oralbalance em gel, foram realizados da mesma forma que os descritos acima. No entanto, foi adicionada a saliva em gel por intermédio de uma seringa de insulina (1ml) com agulha. Em média 0,1 ml de gel foi aplicado sobre cada corpo-de-prova. Após o uso com saliva em gel, o braquete era lavado e secado para uso posterior.

A Tabela 1 ilustra as combinações entre braquetes, ligaduras e fios ensaiados neste trabalho.

Tabela 1 - Combinações que foram realizadas nos trabalhos experimentais e números de experimentos.

<i>Braquetes</i>	<i>Fios</i>	<i>À seco</i>		<i>Com saliva</i>		<i>total</i>
		<i>Ligaduras Elastoméricas</i>				
		<i>MORELLI</i>	<i>TP</i>	<i>MORELLI</i>	<i>TP</i>	
AÇO	<i>Aço</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica GAC</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica MORELLI</i>	10	10	10	10	40
MXi	<i>Aço</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica GAC</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica MORELLI</i>	10	10	10	10	40
MYSTIQUE	<i>Aço</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica GAC</i>	10	10	10	10	40
	<i>NiTi com resina epoxídica MORELLI</i>	10	10	10	10	40
	<i>total</i>	120	120	120	120	480

Foram feitos 10 ensaios para cada situação. Entretanto, na análise estatística foram removidas duas observações que estavam com valores extremos, ou seja, valores que eram muito altos ou muito baixos em relação às demais observações. Sendo assim, a análise foi feita para 8 corpos-de-prova em cada combinação mostrada acima.

Antes e depois dos ensaios de medidas de força de atrito os fios recobertos foram analisados por MEV e microscopia estereoscópica para avaliar os danos do recobrimento.

3.4 Análise Estatística:

Na análise dos resultados foram realizadas comparações entre as médias de força máxima em gf obtidas em cada situação por intermédio de gráficos de barra com desvio padrão representado por barras de erro. Estatisticamente, os dados foram analisados utilizando-se a tabela ANOVA de três fatores para cada braquete isoladamente e também considerando-se os três braquetes juntos. Inicialmente, todas as análises foram realizadas com ajuda do programa *Excel*. Para confirmar os dados do *Excel* e obter os gráficos necessários, foi utilizado o *software Statistic*.

3.5 Avaliação do Diâmetro dos Fios Ortodônticos:

O diâmetro dos fios foi avaliado pela medida em mm realizada através do micrômetro digital Mitutoyo Digmatic Micrometer IP54, 0-25mm, 0,001mm. Obtiveram-se 10 medidas dos fios: aço inoxidável Morelli e NiTi Morelli. Também foi verificado o diâmetro de 10 regiões do fio de NiTi recoberto GAC que não apresentava recobrimento, para assim determinar um parâmetro em relação ao diâmetro final do fio recoberto. Em relação aos fios recobertos, foram obtidas 10 médias de diâmetro, cada uma sendo o resultado de três medidas de diferentes regiões dos fios recobertos. O desvio padrão foi calculado para cada grupo de 10 valores.

4 RESULTADOS:

4.1 Caracterização dos Fios Ortodônticos:

4.1.1 Fios Ortodônticos de Aço Inoxidável Morelli (CrNi):

Os fios de aço inoxidável apresentaram a superfície com morfologia uniforme, como pode ser observado nas micrografias das figuras 13 (a – d). Nas análises por MO das seções transversais dos fios de aço inoxidável não foram observados defeitos superficiais, como é mostrado na Figura 14.

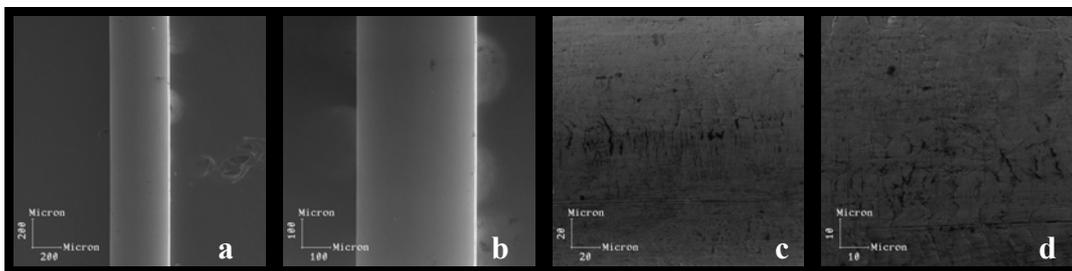


Figura 13 – Micrografias do fio de aço inoxidável com aumento de 50 X (a); 100 X (b); 500 X (c); 1000 X (d) (MEV).

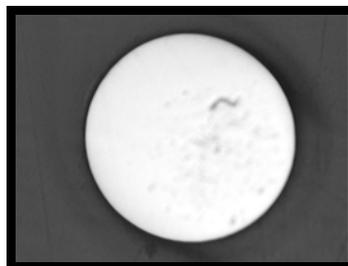


Figura 14 - Macrografia do fio aço inoxidável, vista transversal com aumento de 10 X (MO).

4.1.2 Fios Ortodônticos NiTi Morelli:

O fio de NiTi apresenta uma superfície riscada e manchada, como é mostrado na Figura 15 (a – c). Estes riscos são provenientes do polimento mecânico realizado durante a fabricação.

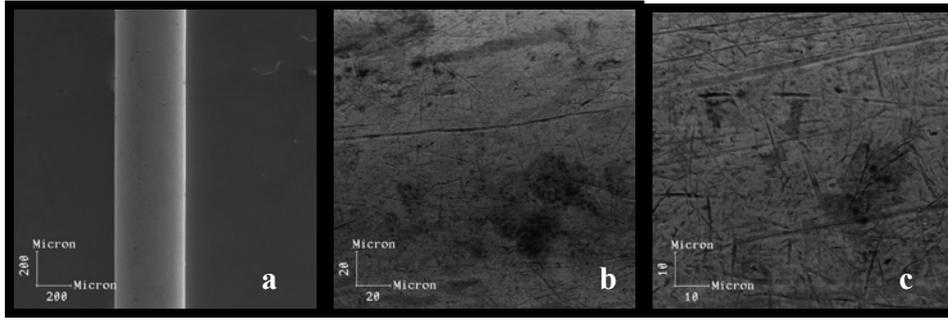


Figura 15 - Micrografias do fio de NiTi com aumento de 50 X (a); 500 X (b); 1000 X (c) (MEV).

Devido a essas irregularidades superficiais, houve a necessidade de submeter a superfície a um preparo prévio para receber o recobrimento. Com isso tentou-se preparar mecânica e quimicamente o substrato a ser recoberto.

4.1.3 Fios Ortodônticos NiTi Morelli com Preparo de Superfície:

4.1.3.1 *Preparação Mecânica da Superfície do Fio NiTi :*

Inicialmente, as partículas de óxido de alumínio utilizadas no processo de jateamento dos fios de NiTi foram caracterizadas por MO, de forma que se pudesse avaliar a geometria das partículas. Na Figura 16 observa-se o formato da granulação do óxido de alumínio de 150 μm . Nas partículas de 150 μm e nas demais granulações, observou-se o formato irregular, responsável por proporcionar ao fio uma rugosidade superficial cheia de vales, o que poderia favorecer a ancoragem do recobrimento.

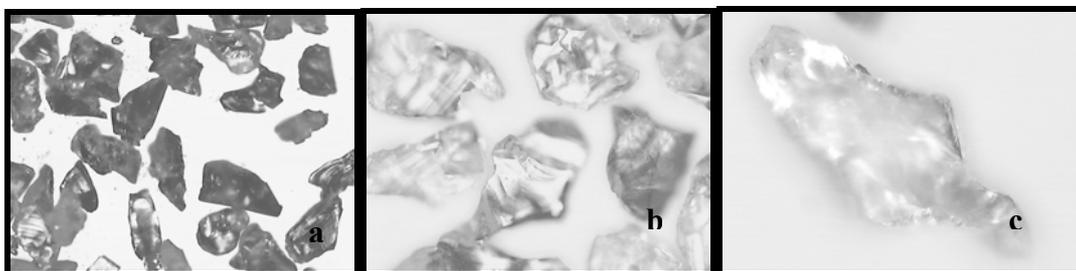


Figura 16 – Macrografia do grão de óxido de alumínio de 150 μm – médio, aumento 5 X (a); 10 X (b); 20 X (c) (MO).

As superfícies após jateamento são mostradas nas Figuras 17, 18 e 19. As partículas com maior granulometria produzem superfícies com morfologia heterogênea, porém com regiões sem microcavidades oriundas do jateamento (Figura 19b). Já as partículas com menor granulometria produzem superfícies de morfologia com menores irregularidades, como pode ser observado na Figura 17b, o que dificultaria o ancoramento mecânico do recobrimento e facilitaria as falhas adesivas. As partículas de tamanho intermediário resultaram em uma distribuição mais homogênea das irregularidades, como pode ser visto na Figura 18b.

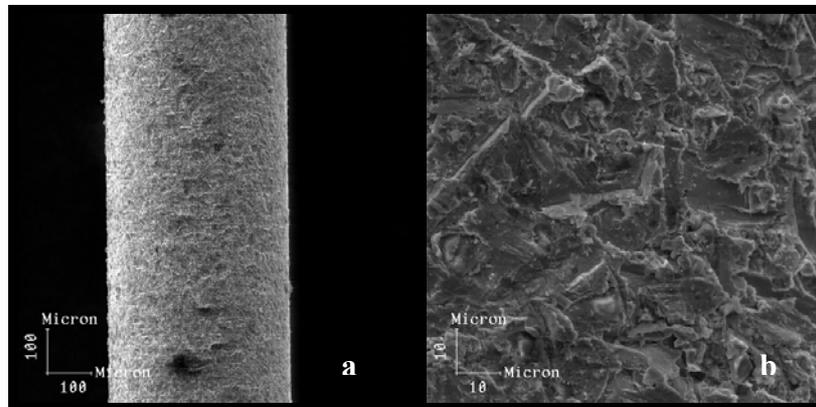


Figura 17 – Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 45 µm; aumento 100 X (a) e aumento 1000 X (b) (MEV).

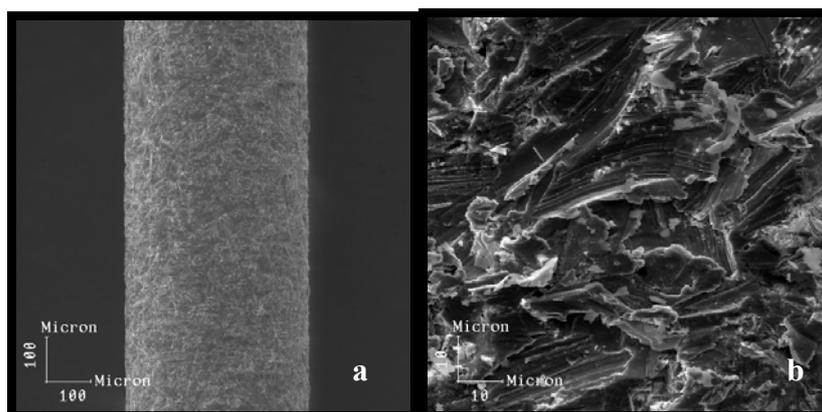


Figura 18 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 150 µm; aumento 100X (a) e aumento 1000 X (b) (MEV).

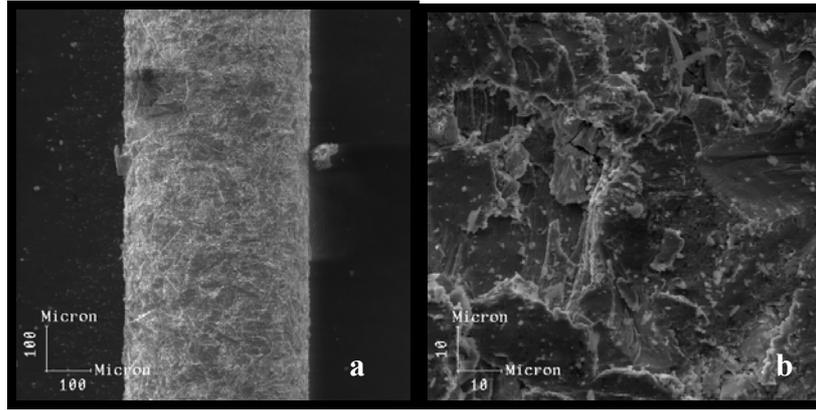


Figura 19 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 250 μm ; aumento 100X (a) e aumento 1K (b) (MEV).

Ao se realizar a caracterização das mesmas superfícies por elétrons retroespalhados, foi possível observar a presença de grande quantidade de resíduo de óxido de alumínio, identificado pelas regiões mais escuras nas micrografias. Tais regiões traduzem o elemento químico com número atômico menor, no caso, o alumínio. Na figura 20a a morfologia da superfície jateada com óxido de alumínio com granulação de 150 μm é observada com elétrons secundários. A caracterização com os elétrons retroespalhados facilita a identificação da presença do óxido de alumínio, como se pode verificar na Figura 20b. As superfícies jateadas com as demais granulações de óxido de alumínio apresentaram-se com as mesmas características da superfície jateada pelo óxido de alumínio de 150 μm .

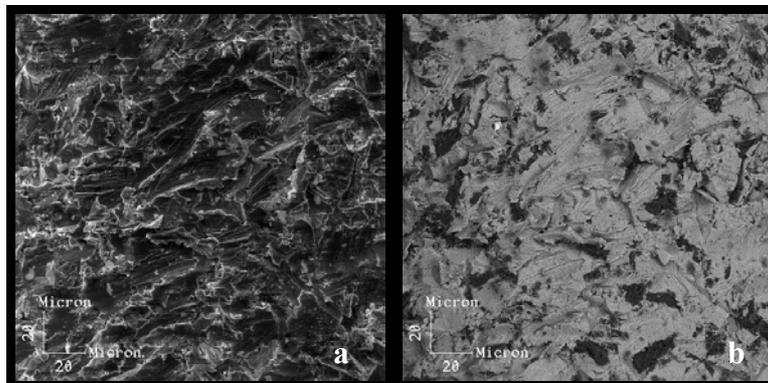


Figura 20 - Micrografia da superfície do NiTi após jateamento com óxido de alumínio de 150 μm comparando elétrons secundários (a) com elétrons retroespalhados, aumento 500 X (b) (MEV).

Na tentativa de remoção dos resíduos de óxido, algumas amostras do fio jateado com óxido de 150 μm foram colocadas em solução de peróxido de hidrogênio e outras em solução de álcool etílico por 5 min em temperatura ambiente. No entanto, a tentativa de limpeza não apresentou sucesso. Isto foi comprovado por uma nova avaliação da superfície em MEV por elétrons retroespalhados, onde se observou ainda a presença de partículas de óxido de alumínio, como é mostrado nas Figuras 21(a e b) e 22 (a e b).

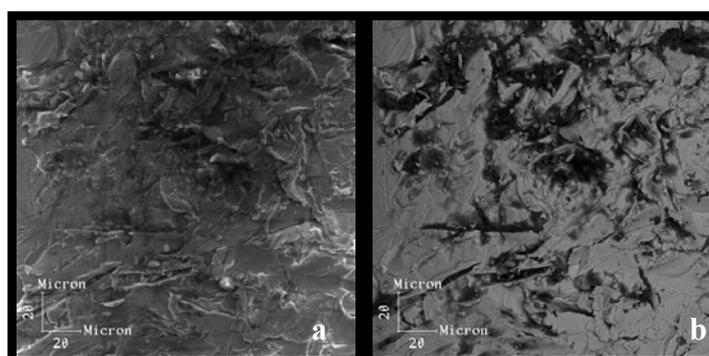


Figura 21 - Micrografia da superfície do NiTi jateado com óxido de alumínio 150 μm após limpeza com peróxido de hidrogênio; elétrons secundários (a); elétrons retroespalhados (b), aumento 500 X (MEV).

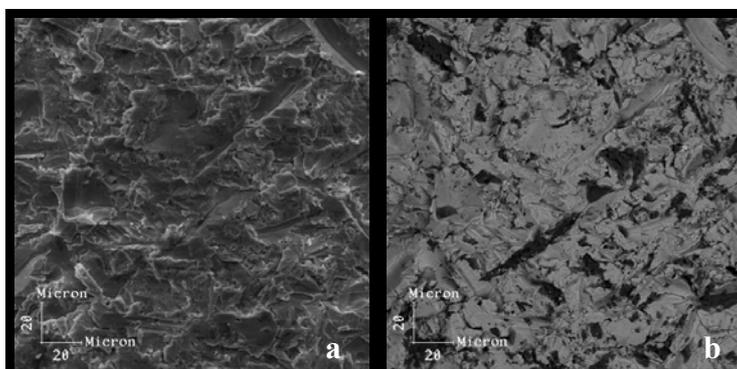


Figura 22 - Micrografia da superfície do NiTi jateado com óxido de alumínio 150 μm após limpeza com álcool etílico; elétrons secundários (a); elétrons retroespalhados (b), aumento 500 X (MEV).

O objetivo do jateamento foi facilitar a adesão do recobrimento. Entretanto, a presença de partículas de óxido de alumínio na superfície do NiTi, comprovada pelas micrografias, é preocupante. Isto se deve à possibilidade do comprometimento da saúde geral dos pacientes que irão utilizar o fio ortodôntico. O acúmulo de alumínio no

homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio (<http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/paramquimicos.htm>).

4.1.3.2 Preparação da Superfície por Soluções Químicas:

As superfícies que sofreram ataque químico em diferentes tempos de imersão na solução de ácido sulfúrico e clorídrico foram caracterizadas em MEV. A variação de tempo modificou as superfícies, como pode ser observado nas Figuras 23 a 26. Para tempos inferiores a 60 seg, pode-se observar a formação de irregularidades pequenas. Para tempos maiores houve a formação de alvéolos maiores, como é mostrado nas Figuras 25b e 26 (a e b). Estes alvéolos isolados na superfície podem causar *pits* de corrosão ou podem alojar resíduos de flúor, que é normalmente aplicado em sessões de prevenção de cárie durante o tratamento ortodôntico. As irregularidades no fio são pontos de concentrações de tensões e facilitam a fratura do fio. Possivelmente, estas regiões foram oriundas da remoção da segunda fase (Ni_3Ti) presente na liga de NiTi. O recobrimento poderia preencher os alvéolos, mas não acabaria com os concentradores de tensão. O risco de deglutição do fio, ou simplesmente o ferimento da mucosa por perfuração, justifica o abandono desta técnica de preparação da superfície.

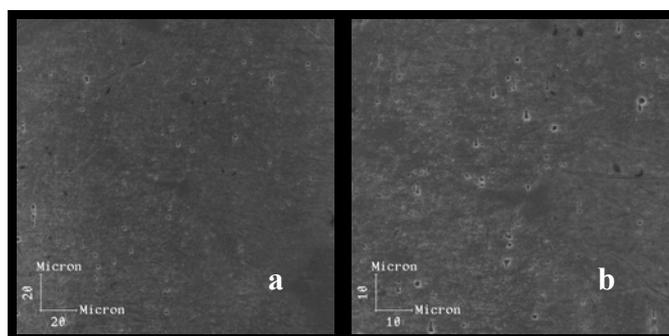


Figura 23 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H_2SO_4 e HCl por 30 seg; aumento 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).

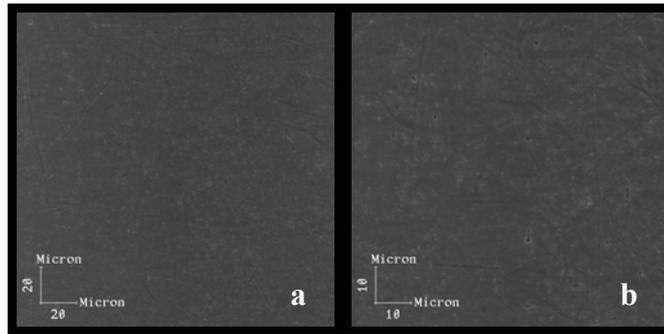


Figura 24 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H₂SO₄ e HCl por 60 seg; aumento 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).

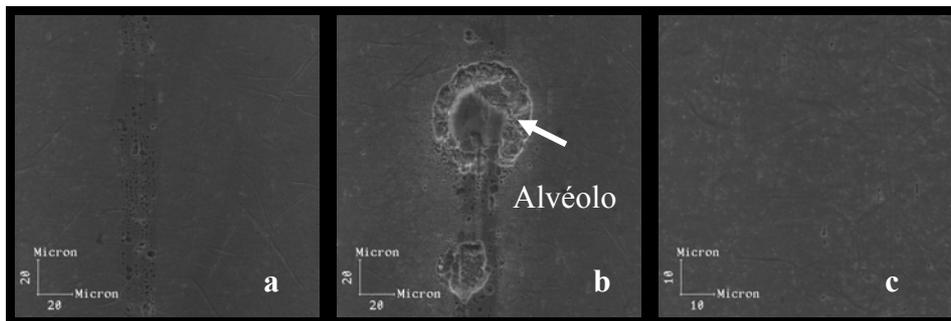


Figura 25 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H₂SO₄ e HCl por 2min; aumento 500 X (a); (b) e 1000 X (c) (MEV).

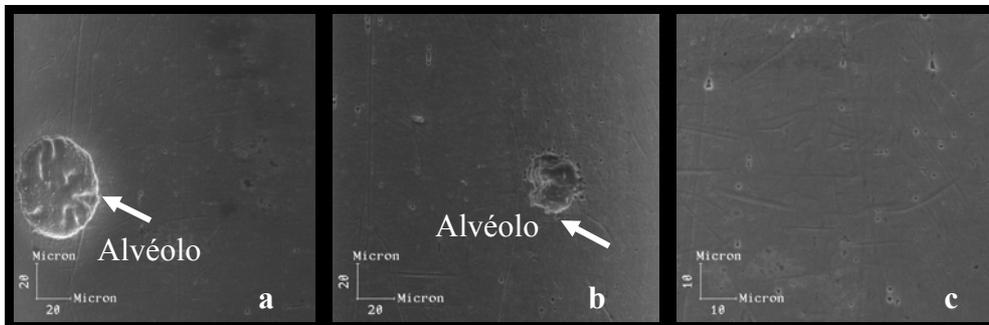


Figura 26 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de H₂SO₄ e HCl por 5min; aumento 500 X (a); (b) e 1000 X (c) (MEV).

Com base nos resultados preliminares tentou-se o ataque químico com outro tipo de solução. Assim, a superfície do fio foi atacada com solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico na empresa Morelli. Neste caso, alguns *pits* foram encontrados, como se observa na Figura 27 (a e b). Porém, não houve formação de alvéolos, o que viabilizou o emprego deste tratamento de superfície. Embora a superfície mostrada na Figura 27

tenha semelhança com a superfície conseguida através da exposição do fio a 60 seg em solução de ácido sulfúrico e clorídrico, como mostra a Figura 24, optou-se pelo uso apenas da solução de ácido fluorídrico com ácido nítrico. Isto ocorreu devido à possibilidade de ser realizado o preparo da superfície na empresa Morelli e, imediatamente após, o recobrimento, prevenindo assim qualquer risco de contaminação da superfície.

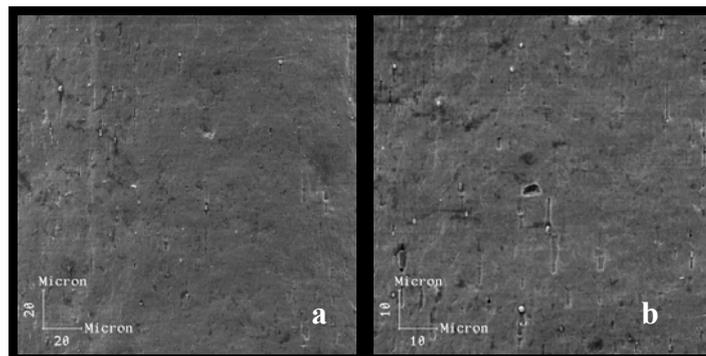


Figura 27 - Micrografia da superfície do NiTi após a imersão em solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico; aumento de 500 X (a) e 1000 X (b) (MEV).

4.1.3.3 Métodos de Recobrimento após Preparação Mecânica da

Superfície:

Após o jateamento, a primeira tentativa de recobrimento dos fios foi feita pela imersão dos mesmos em Araldite; porém este processo não é prático e tampouco se mostrou eficiente. Observou-se a ausência de molhamento da superfície por Araldite, o que impediu a formação de um recobrimento uniforme por toda extensão do fio, como é mostrado na Figura 28. Com o tempo, parte do fio fica sem recobrimento e o filme se concentra em determinadas regiões.

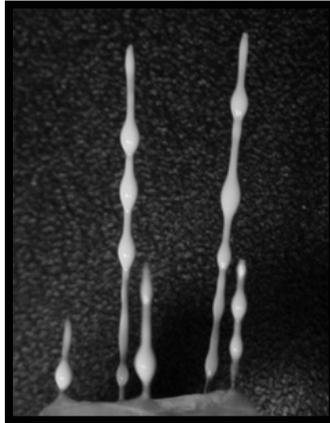


Figura 28 – Fotografia do fio ortodôntico com recobrimento de Araldite.

Numa segunda tentativa foi utilizada a resina composta *Solidex*. Este material tem a vantagem de apresentar uma coloração próxima à dos elementos dentários. O material foi aplicado com pincel. Ao ser caracterizado no MO, foi possível comprovar falta de uniformidade na espessura do recobrimento, como mostra a Figura 29 (a e b), além desta resina apresentar partículas de carga, o que determina uma superfície áspera e irregular, como pode ser visto na Figura 30. Tal aspereza favorece o acúmulo de placa bacteriana, dificulta a higiene e pode interferir no deslizamento entre fio e braquete. Por conseguinte, este recobrimento também foi abandonado.

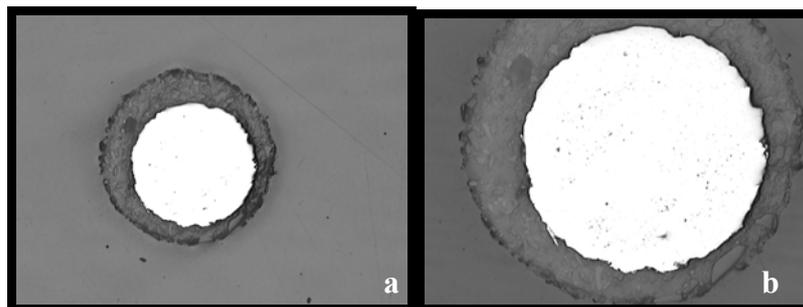


Figura 29 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento de *Solidex*, aumento de 5X (a) e 10X (b) (MO).

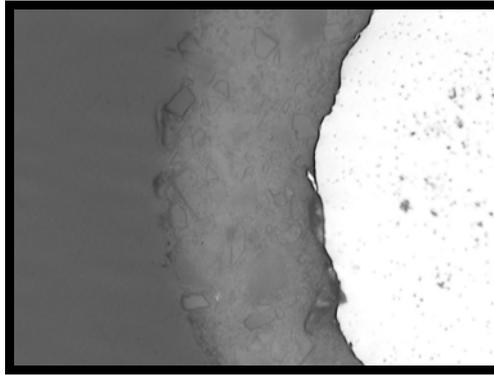


Figura 30 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento de *Solidex*, aumento 20 X (MO).

O fio recoberto por resina epoxídica via eletrostática do pó pela empresa Morelli, após a preparação mecânica da superfície, também não obteve sucesso, pois algumas regiões ficaram sem recobrimento. As irregularidades provocadas pelo jateamento de óxido não favoreceram o recobrimento uniforme, como pode ser visto na Figura 31.

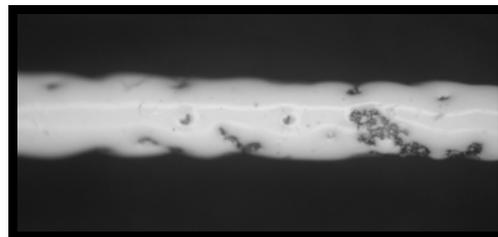


Figura 31 - Micrografia estereoscópica do fio de NiTi recoberto por resina epoxídica através do processo da eletrostática do pó, aumento 50X .

Os métodos de recobrimento que falharam no fio de superfície preparado mecanicamente não foram realizados com os fios cujas superfícies foram preparadas quimicamente.

4.1.3.4 Métodos de Recobrimento após a Preparação da

Superfície com Solução Química:

Como as técnicas de recobrimento por imersão e pintura a pincel não obtiveram sucesso quanto à qualidade do recobrimento resultante, optou-se por

utilizar, na superfície atacada quimicamente, a técnica da eletrostática do pó. As irregularidades do preparo mecânico não favoreceram o recobrimento. Em consequência, foram realizadas tentativas com o processo de eletrostática do pó. A técnica de recobrimento eletrostática do pó obteve melhor resultado quando aplicada à superfície com tratamento químico, feito pela fábrica Morelli, com solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico. Na literatura pesquisada, não foram encontradas referências sobre as técnicas de recobrimento com resina epoxídica para fios ortodônticos.

O recobrimento neste caso, realizado pela técnica eletrostática do pó, apresentou uniformidade em torno do fio. É possível observar a uniformidade da espessura do recobrimento em torno do fio pela análise em MO do fio embutido em resina epoxídica, como é mostrado na Figura 32 (a e b).

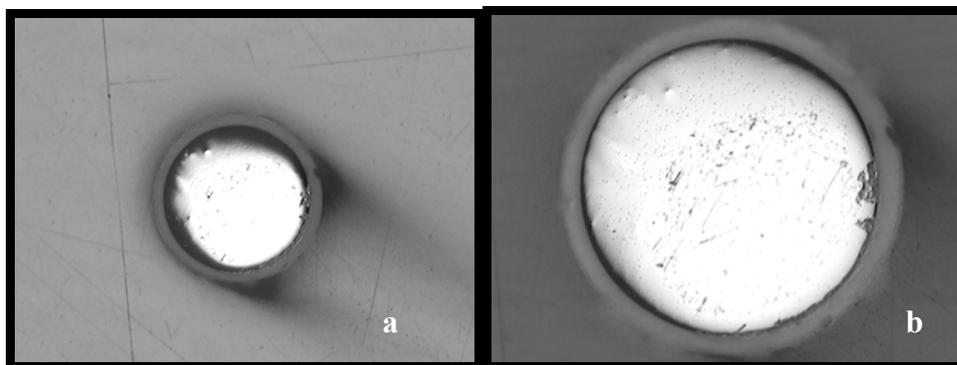


Figura 32 - Micrografia do fio de NiTi com recobrimento feito por eletrostática do pó, aumento de 5 X (a) e 10X (b) MO.

4.1.4 Fios Ortodônticos NiTi Recoberto Morelli:

O fio recoberto da marca Morelli mostra uma superfície uniforme em toda sua extensão, como mostrado na Figura 33. Em algumas amostras, o recobrimento apresentou estrias e pigmentos incorporados, mas não apresentou rugosidades tão elevadas quanto às presentes no fio recoberto da marca CAG.

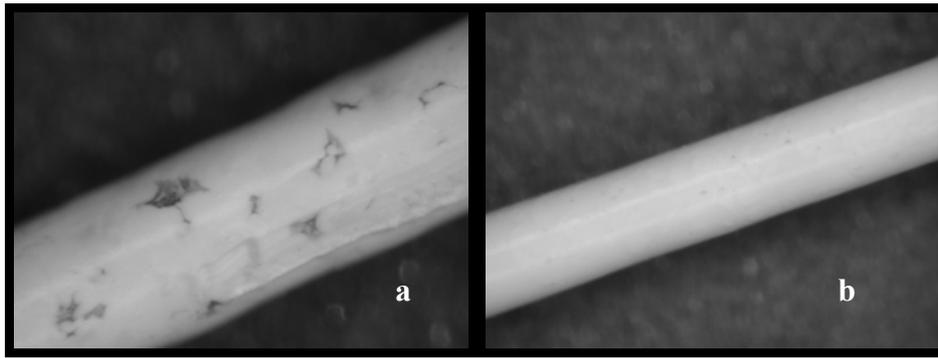


Figura 33 - Micrografia estereoscópica do fio da Morelli recoberto com epóxi, aumento de 63 X (a) e 50 X (b).

A qualidade do fio recoberto Morelli pode ser comprovada pela avaliação em MEV, onde a superfície apresentou-se homogênea como se vê nas Figuras 34 (a, b e c).

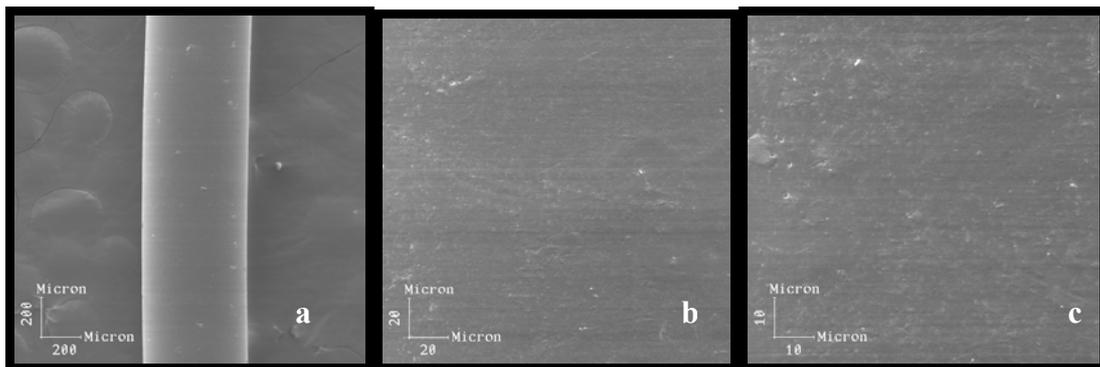


Figura 34 - Micrografia eletrônica do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X (a); 500 X (b) e 1000 X (c).

4.1.5 Fios Ortodônticos NiTi Recoberto da GAC:

O fio de NiTi com recobrimento da GAC apresentou uma superfície heterogênea em toda sua extensão, observado nas imagens obtidas em microscópio estereoscópico nas Figura 35 e 36, e nas micrografias obtidas em MEV, na Figura 37 (a – c). Existem áreas que possuem rugosidades grosseiras (Figura 36). No entanto, é importante ressaltar que a escala de avaliação do estereoscópico é diferente da escala do MEV. Assim, o fio que parece possuir uma superfície heterogênea em avaliação estereoscópica

(Figuras 35 e 36) pode apresentar-se com uma superfície homogênea em avaliação do MEV (Figura 37a).

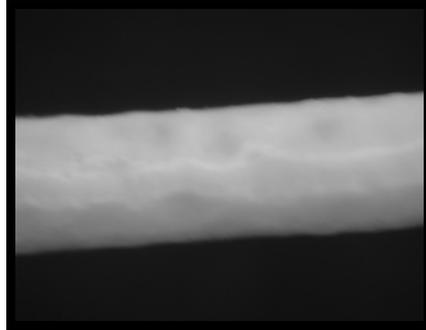


Figura 35 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto com resina epoxídica, aumento de 63 X.

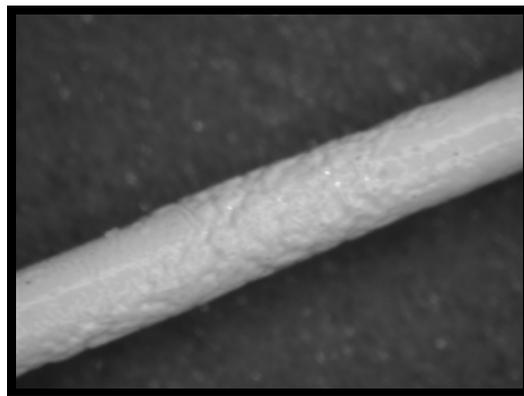


Figura 36 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto com resina epoxídica (região rugosa), aumento de 40 X.

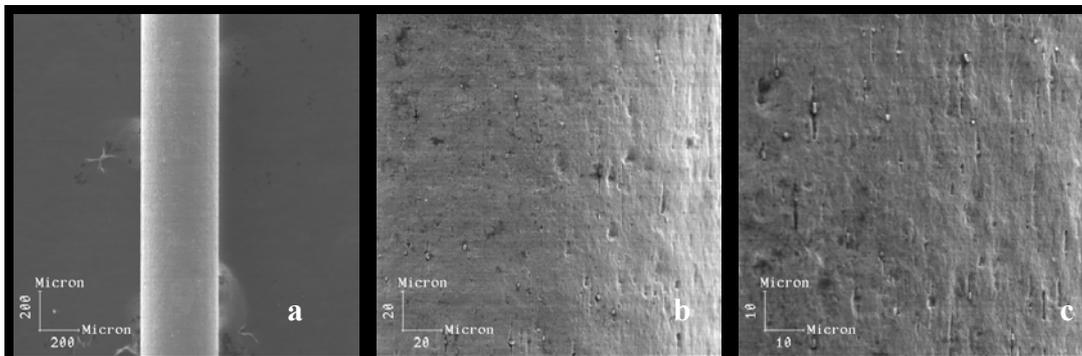


Figura 37 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 50 X (a); 500 X (b); 1000 X (c) (MEV).

Nos experimentos foram utilizados os dois tipos de fios recobertos, com a finalidade de testá-los em relação à força de atrito frente ao deslizamento mecânico junto aos braquetes de aço inoxidável ou de cerâmica, e junto às ligaduras elastoméricas com ou sem saliva artificial.

4.2 Caracterização dos Braquetes:

Com relação à caracterização em MEV dos braquetes, analisados no presente trabalho, foi possível observar que a superfície do *slot* (Figura 38 - 41), região onde ocorre o contato direto do fio ortodôntico com o braquete, do acessório MXi, apresenta-se homogênea. Já o braquete de aço inoxidável da Morelli e o braquete cerâmico Mystique mostram regiões com imperfeições, o que exige maior atenção para o acabamento e polimento de tais peças. Tais características podem ser observadas nas Figuras 39 - 41.

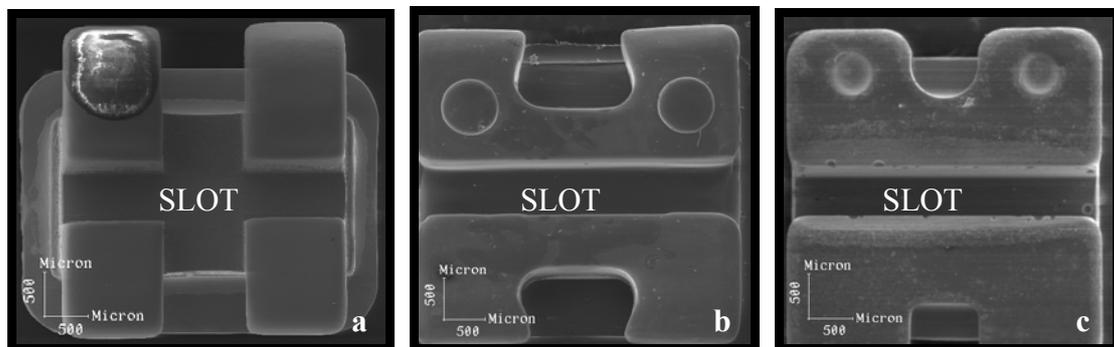


Figura 38 – Micrografia do Braquete aço Morelli 21 X (a); Braquete Cerâmico MXi 22X (b); Braquete Cerâmico Mystique 24 X (c) (MEV).

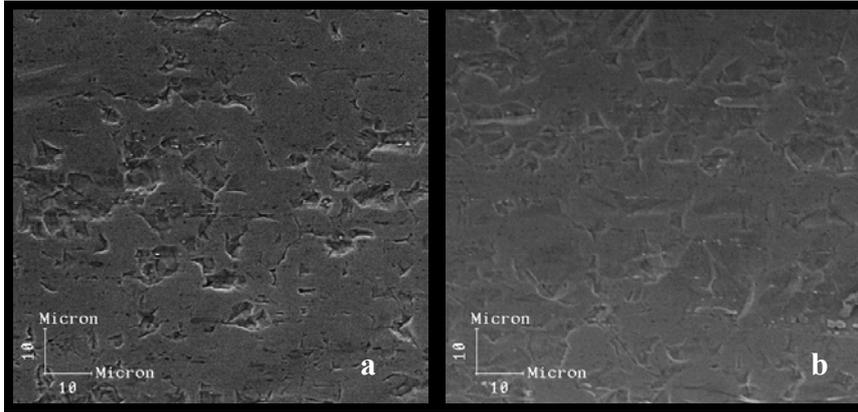


Figura 39 – Micrografia da superfície do slot do braquete aço inoxidável Morelli com aumento de 1000 X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).

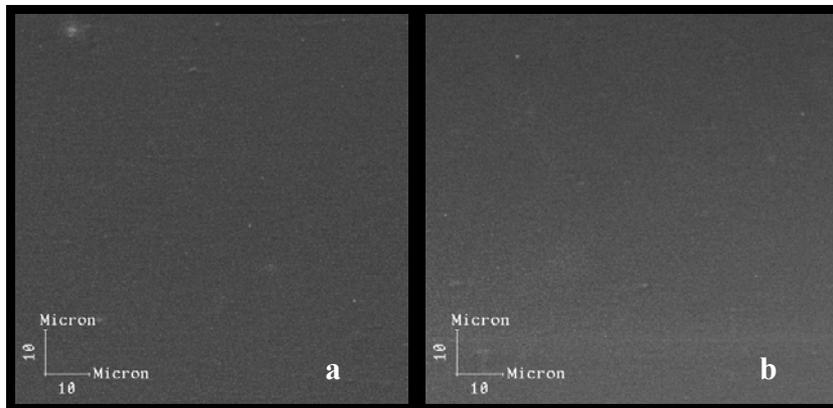


Figura 40 - Micrografia da superfície do slot do braquete cerâmico MXi com aumento de 1000 X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).

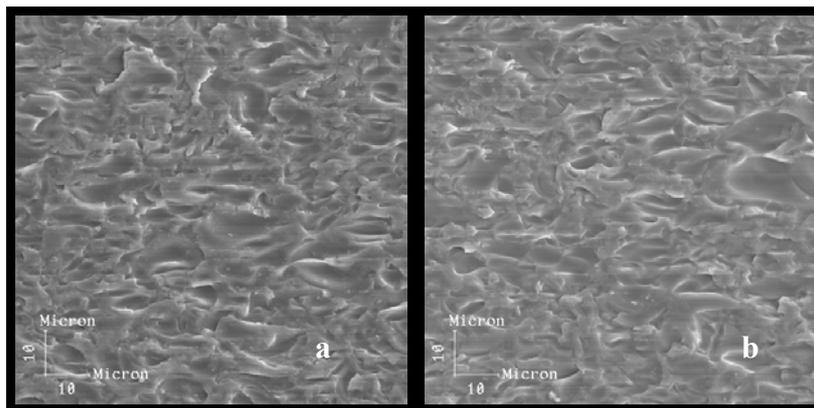


Figura 41 - Micrografia da superfície do slot do braquete cerâmico Mystique com aumento de 1000X - região central (a) e região lateral (b) (MEV).

Os resultados da literatura indicam que os braquetes cerâmicos são portadores de superfície heterogênea, o que de fato foi observado no braquete Mystique (Figura

41), cujo slot é cortado por diamante (http://www.gacmystique.com/dr_create.html). Em contrapartida, o braquete cerâmico MXi apresenta uma superfície mais uniforme, sem heterogeneidades aparentes na escala avaliada. De acordo com o fabricante, esta ausência de rugosidades e imperfeições se deve ao método de fabricação utilizado, que é a moldagem por injeção, o qual permite produzir peças com formatos complexos e com acabamento superficial homogêneo (<http://www.tportho.com>). Com este processo não há necessidade de usinagem após a fase de conformação e sinterização da peça cerâmica, prevenindo a formação de imperfeições superficiais.

4.3 Caracterização das Ligaduras:

Dentre as duas ligaduras que compuseram o sistema analisado, observa-se que existe superioridade na qualidade do acabamento superficial na ligadura TP, comprovado na micrografia da Figura 42. A ligadura Morelli, mostrada na Figura 43, apresenta imperfeições que podem favorecer ainda mais o acúmulo de placa bacteriana. Seus ângulos são agudos, não apresentando arredondamento como a ligadura TP.

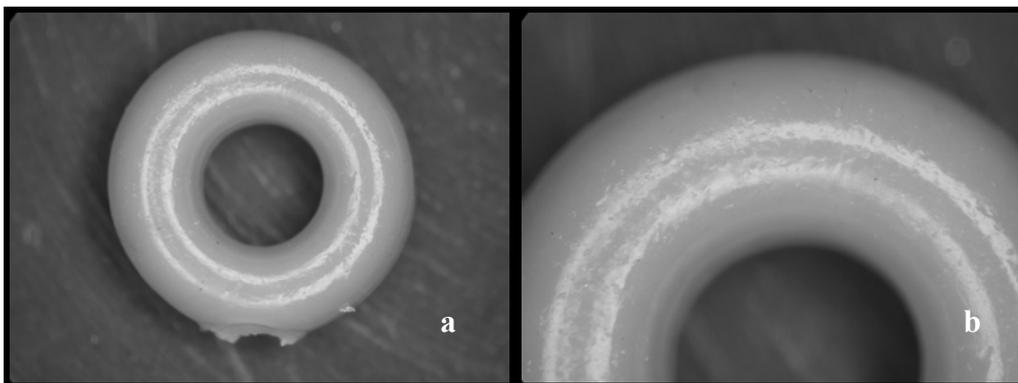


Figura 42 – Micrografia estereoscópica da ligadura TP, aumento 30 X (a) e 63 X (b).

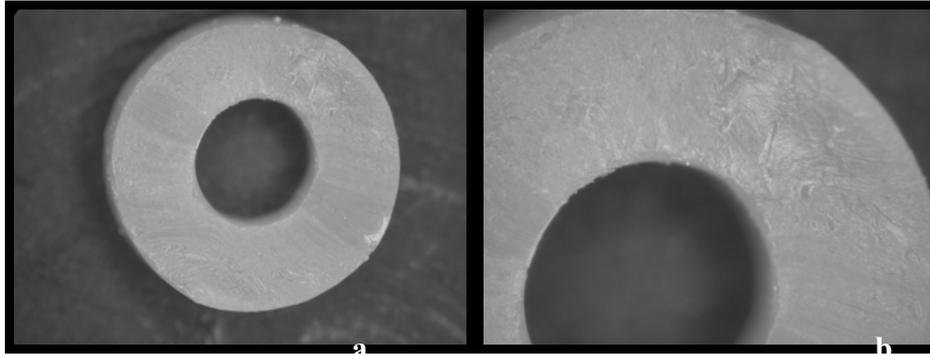


Figura 43 – Micrografia estereoscópica da ligadura Morelli, aumento 30 X (a) e 63 X (b).

Em micrografias obtidas por MEV fica comprovada definitivamente a descrição relatada acima. Nas Figuras 44 (a – d) pode-se observar com detalhes estas características.

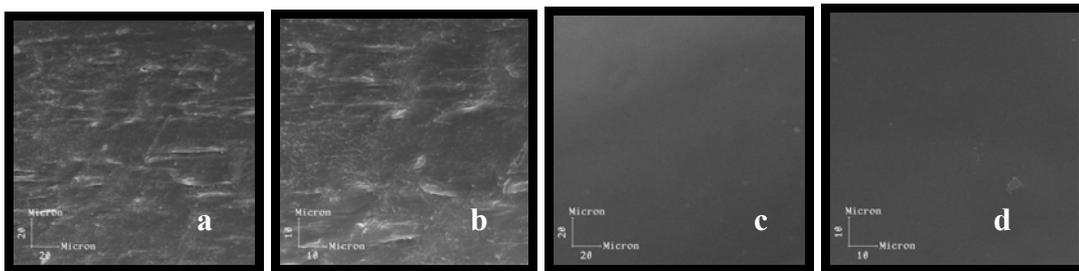


Figura 44 - Micrografia da ligadura Morelli 500 X (a); 1000 X (b) e ligadura TP 500 X (c); 1000 X (d) (MEV).

4.4 Ensaios de Atrito:

Nos ensaios de atrito dos fios ortodônticos realizados no equipamento EMIC registrou-se a força máxima em gf exigida para provocar 4mm de deslocamento do fio ortodôntico a uma velocidade de 5mm/min em cada corpo-de-prova. Foram utilizados oito ensaios para cada combinação estabelecida entre fio, braquete e ligadura elastomérica. A Tabela 2 mostra os valores obtidos e o desvio padrão calculado correspondente a cada combinação avaliada

Tabela 2 – Médias de força máxima em gf para as diferentes combinações dos experimentos de atrito.

<i>Braquetes</i>	<i>Fios</i>	<i>A seco</i>		<i>Com saliva</i>	
		<i>Ligaduras Elastoméricas</i>			
		<i>MORELLI</i>	<i>TP</i>	<i>MORELLI</i>	<i>TP</i>
AÇO	<i>Aço</i>	60,91 ± 5,63	26,60 ± 3,22	58,53 ± 3,07	38,05 ± 3,90
	<i>NiTi</i>	56,28 ± 5,79	40,60 ± 3,02	48,94 ± 6,38	37,02 ± 4,88
	<i>NiTi recoberto GAC</i>	77,59 ± 8,03	69,40 ± 7,64	93,22 ± 6,69	42,41 ± 5,25
	<i>NiTi recoberto MORELLI</i>	79,24 ± 10,62	53,69 ± 13,56	80,56 ± 4,01	36,89 ± 5,72
MXi	<i>Aço</i>	90,04 ± 7,63	31,72 ± 2,31	71,69 ± 11,84	54,22 ± 5,37
	<i>Niti</i>	74,13 ± 7,43	33,01 ± 7,34	67,47 ± 5,94	38,83 ± 3,29
	<i>NiTi recoberto GAC</i>	54,29 ± 4,40	38,67 ± 5,70	71,4 ± 5,39	37,47 ± 1,53
	<i>NiTi recoberto MORELLI</i>	113,13 ± 8,32	57,22 ± 8,12	98,81 ± 10,01	46,82 ± 4,57
MYSTIQUE	<i>Aço</i>	62,83 ± 6,41	27,99 ± 4,33	78,87 ± 4,89	25,70 ± 3,47
	<i>NiTi</i>	64,49 ± 8,91	81,32 ± 7,17	58,67 ± 6,27	35,88 ± 3,43
	<i>NiTi recoberto GAC</i>	73,47 ± 6,66	39,46 ± 6,22	64,30 ± 7,77	40,14 ± 3,29
	<i>NiTi recoberto MORELLI</i>	84,03 ± 14,99	79,53 ± 5,60	89,33 ± 5,08	31,98 ± 9,66

Para facilitar a percepção da variação dos dados, estes foram organizados em gráficos de barra com barras de erro que mostram o desvio padrão das médias das forças máximas em gf descrito acima. Nestes gráficos o eixo das abcissas representa os fios ortodônticos; e o eixo das ordenadas, os valores de força máxima em gf. Mostra-se na Figura 45 de forma comparativa, a relação existente entre os fios que deslizaram no *slot* do braquete de aço inoxidável Morelli para ambas as ligaduras, TP e Morelli (designada como M no gráfico), bem como a influência do meio: seco ou na presença de saliva artificial. O fio recoberto será designado com a abreviação *rec.*, e a letra M continuará designando a marca Morelli nos gráficos a seguir.

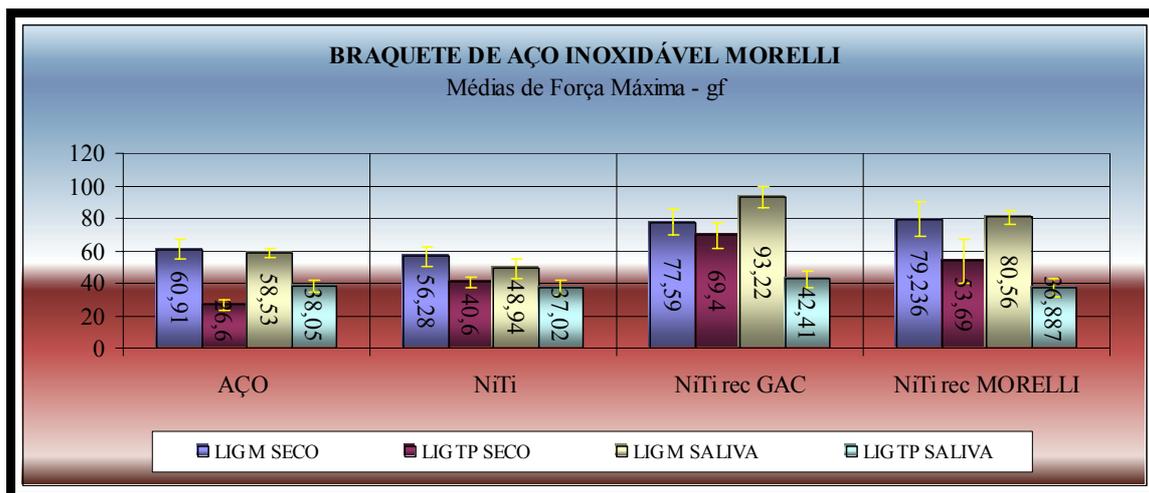


Figura 45 – Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete aço Morelli.

Observa-se que, de forma geral, os fios recobertos resultaram em forças maiores do que os fios sem recobrimento, com exceção apenas para a combinação fio recoberto Morelli, ligadura TP e saliva, cujo valor médio da força é próximo aos obtidos para os fios NiTi e de aço inoxidável sob as mesmas condições.

Dentre os fios recobertos, os melhores resultados foram obtidos com os fios recobertos Morelli. Deste grupo, apenas a combinação de fio recoberto Morelli, ligadura Morelli a seco apresentou valor superior (79,23 gf) em relação à mesma combinação com o fio recoberto da GAC (77,59 gf). No entanto, com desvio padrão de $\pm 10,62$ gf para a média de 79,23 gf, pode-se sugerir que não há diferença em relação ao fio recoberto da GAC que teve o desvio padrão de $\pm 8,03$ gf para média de 77,59 gf.

Com relação à presença da saliva, foi possível constatar que ela fez o sistema produzir menores valores quando a ligadura TP estava presente. No entanto, quando a ligadura presente era Morelli o mesmo não ocorria. Nos fios recobertos Morelli ou GAC juntamente com a ligadura Morelli não foi observada a diminuição dos valores de força máxima. Inclusive na combinação com os fios recobertos GAC, o sistema apresentou um aumento na média da força máxima de $77,59 \pm 8,025$ gf para $93,22 \pm 6,688$ gf.

No sistema de deslizamento com o braquete MXi verificou-se que o fio

recoberto Morelli apresenta as maiores forças, com exceção do sistema fio recoberto Morelli com ligadura TP e saliva, como pode ser observado no gráfico da Figura 46. Entre os demais sistemas, o fio recoberto GAC, apresentou valores menores comparados ao grupo de fio de aço, com exceção apenas da combinação fio recoberto GAC com a ligadura TP a seco. Na comparação com o grupo fio NiTi sem recobrimento, observa-se que não há diferenças significativas. Os valores do desvio padrão são similares.

Neste caso, o fio recoberto Morelli só apresentou melhores resultados com a ligadura TP na presença de saliva. O uso da ligadura Morelli resultou em valores elevados da força máxima entre os quatro grupos de fios testados com esse braquete na presença ou não de saliva.

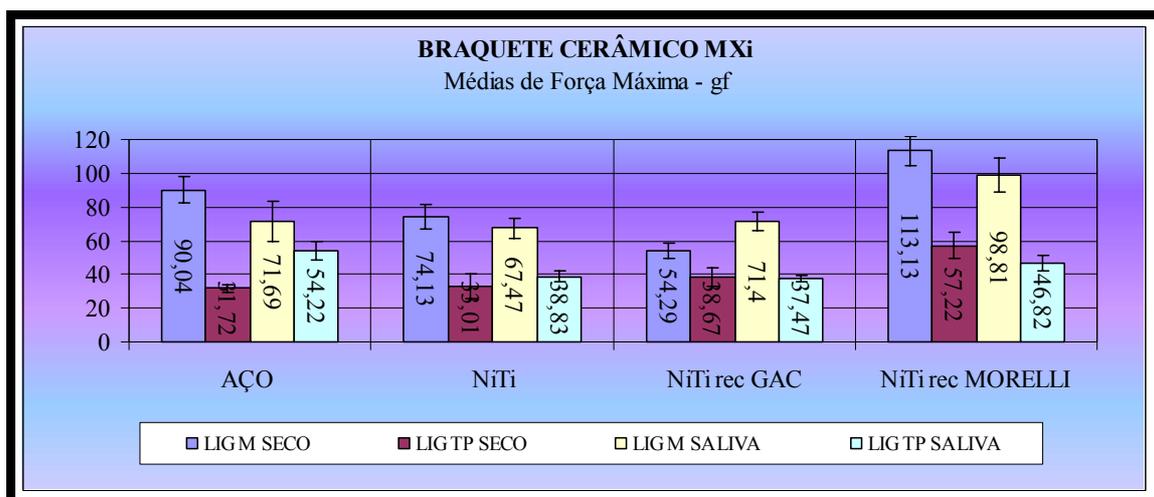


Figura 46 - Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete cerâmico MXi.

Na Figura 47 vê-se o gráfico de barras das médias das forças máximas dos testes realizados nos sistemas formados com o braquete cerâmico Mystique. O resultado da força máxima apresentou uma grande variação nos valores entre os grupos dos fios testados. Os fios com saliva e ligadura TP, como componentes do sistema, mostraram valores menores em todos os grupos de fios. Entre os fios recobertos, o fio Morelli com ligadura TP e saliva proporcionou menor valor com a média $31,98 \pm 9,66$ gf, inclusive

em relação aos demais braquetes. Entretanto, os mesmos fios com a ligadura Morelli apresentaram um resultado variado, onde, mesmo com a presença de saliva, houve aumento da força máxima. Este é o caso da combinação fio recoberto Morelli, ligadura Morelli e saliva; e da combinação fio de aço, ligadura Morelli e saliva.

Dentre os fios recobertos que atritaram sobre a superfície do braquete Mystique, o fio recoberto GAC proporcionou melhores resultados de uma forma geral, exceto com a combinação fio recoberto Morelli, ligadura TP e saliva, quando comparados ao fio recoberto GAC, sob as mesmas condições que mostrou a média de $40,14 \pm 3,29$ gf.

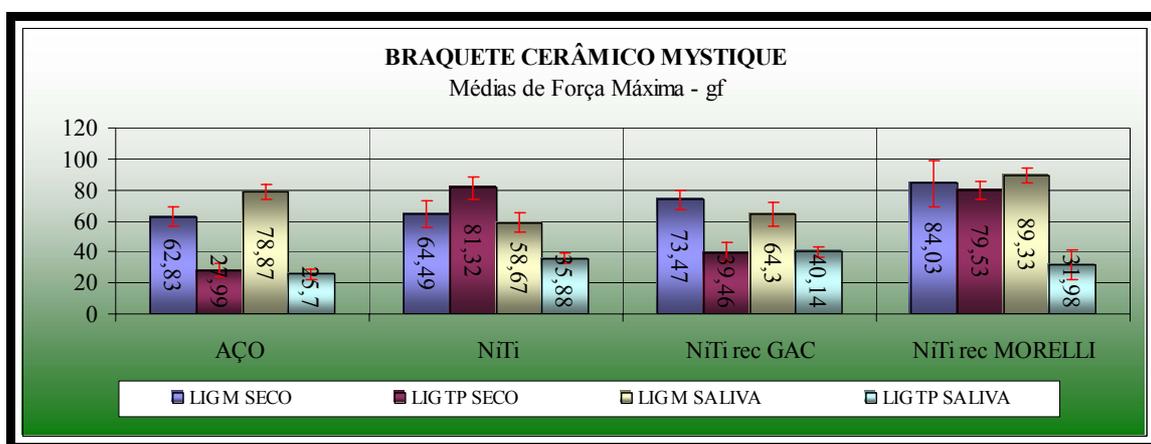


Figura 47 - Gráfico de barra das médias de força máxima no braquete cerâmico Mystique.

4.5 Avaliação do Diâmetro dos Fios Ortodônticos:

Os valores do diâmetro em mm dos fios ortodônticos foram os seguintes:

- Aço inoxidável Morelli: $0,397 \pm 0,002$ mm;
- NiTi Morelli: $0,392 \pm 0,006$ mm;
- Região sem recobrimento do fio NiTi GAC recoberto: $0,353 \pm 0,001$ mm;
- NiTi recoberto GAC: $0,396 \pm 0,007$ mm;
- NiTi recoberto Morelli: $0,473 \pm 0,008$ mm.

Observou-se que os valores não são exatamente 0,40 mm, como é informado pelo fabricante. Existe uma pequena variação dos valores. O fio de NiTi GAC

sem recobrimento apresenta diâmetro menor que o NiTi Morelli sem recobrimento. Sendo assim, o substrato que apresentou menor diâmetro favoreceu a obtenção de um fio recoberto com menor diâmetro. O fio NiTi Morelli, que apresentou diâmetro de $0,392 \pm 0,006$ mm resultou num fio recoberto de $0,473 \pm 0,008$ mm de diâmetro, de maior diâmetro que o fio NiTi GAC recoberto. Com estes dados é possível concluir qual é a espessura dos recobrimentos. O fio NiTi recoberto GAC possui uma espessura de 0,043mm e o NiTi recoberto Morelli de 0,081mm.

4.6 Caracterização dos Fios Ortodônticos Após os Ensaios de Atrito:

Os fios recobertos foram avaliados após os ensaios de atrito quanto à integridade do recobrimento. Para o braquete de aço inoxidável Morelli, em 9 segmentos dos fios recobertos da GAC analisados, 4 apresentaram perda do recobrimento em diversas regiões, como se observa nas micrografias das Figuras 48 e 49. Ainda para o mesmo braquete, em 7 segmentos avaliados do fio recoberto Morelli, apenas um segmento apresentou defeito, mesmo assim, devido à presença de uma bolha, como mostrado na Figura 50. Não foi observada falha de adesão do recobrimento.

Em 8 segmentos de fio recoberto da GAC e em 10 segmentos de fio recoberto da Morelli usados com o braquete MXi não foram encontrados perda do recobrimento devido ao atrito.

O mesmo ocorreu em 4 segmentos de fios de ambas as marcas usadas com o braquete Mystique. É importante ressaltar que cada amostra de fio tinha 5cm, e cada segmento de 1cm era um corpo-de-prova. Com esta avaliação foi possível comprovar que os fios recobertos usados com braquetes cerâmicos tiveram sua integridade preservada.

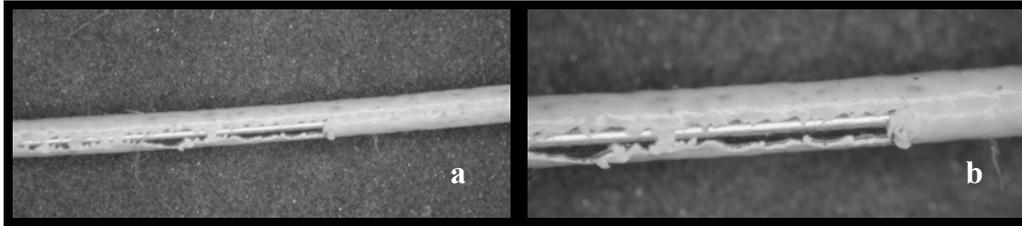


Figura 48 – Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto; aumento de 20 X (a); 40 X (b) após o ensaio.

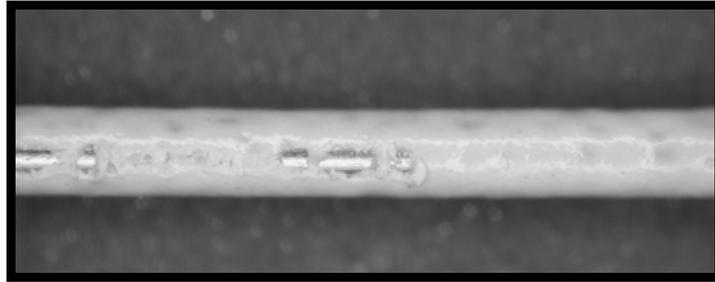


Figura 49 - Micrografia estereoscópica do fio da GAC recoberto; aumento de 40 X após o ensaio.

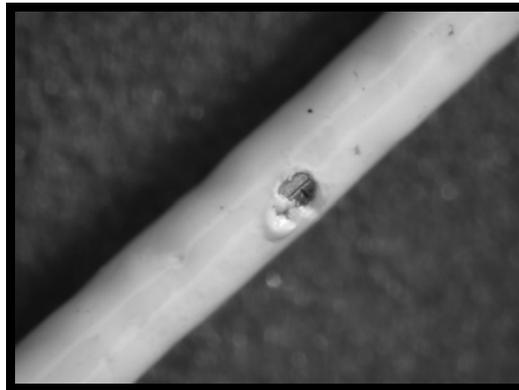


Figura 50 - Micrografia estereoscópica do fio da Morelli recoberto; aumento de 50 X com pequena região sem recobrimento após o ensaio.

Na análise no MEV dos corpos-de-prova dos fios GAC e Morelli que sofreram atrito, observou-se que o fio recoberto GAC apresenta irregularidades não somente na região superficial do recobrimento como também no interior do mesmo. Observa-se isto na região do fio em que o recobrimento foi removido, mostrado na Figura 51 e 52a. Na Figura 52b, nota-se a presença de bolhas no interior do recobrimento, sugerindo que a qualidade deste está comprometida.

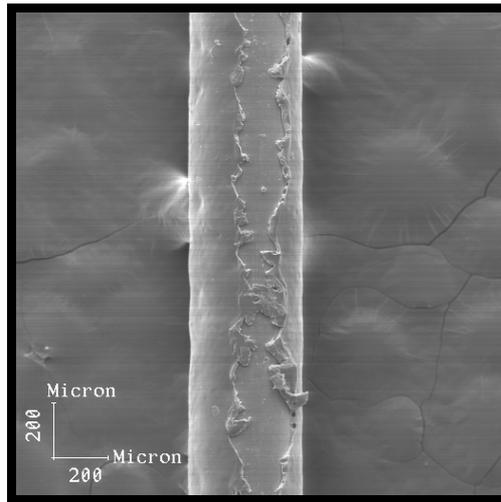


Figura 51 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 50 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).

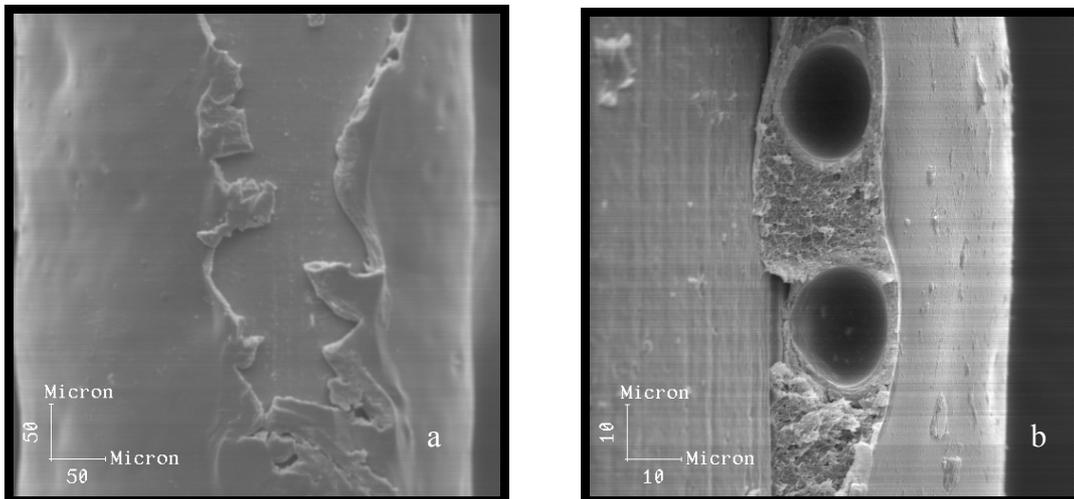


Figura 52 - Micrografia do fio recoberto GAC com aumento de 200 X (a) e 1000 X (b) após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).

Os fios Morelli após os ensaios (Figura 53) não apresentaram perda de recobrimento. Existem algumas depressões na superfície mostrada na Figura 54, mas tais irregularidades não prejudicaram a integridade do recobrimento.

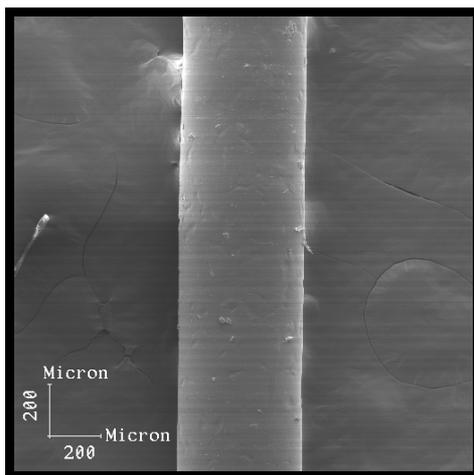


Figura 53 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).

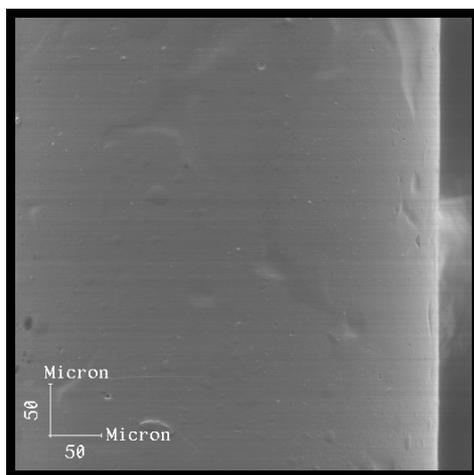


Figura 54 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 200 X após sofrer atrito com a superfície dos braquetes (MEV).

Ainda em relação ao fio recoberto Morelli, pode-se observar na Figura 55 a presença de uma região que sofreu perda de recobrimento. Esta região é uma bolha, como citado anteriormente. Na Figura 56 é possível observar que o interior do recobrimento apresenta características diferentes do recobrimento da GAC: não há bolhas internas. Tal comportamento apresenta bons resultados e indica possibilidade de êxito.

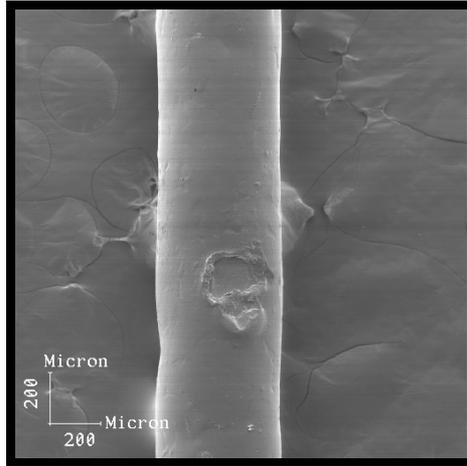


Figura 55 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 50 X mostrando falha do recobrimento Morelli (bolha) (MEV).

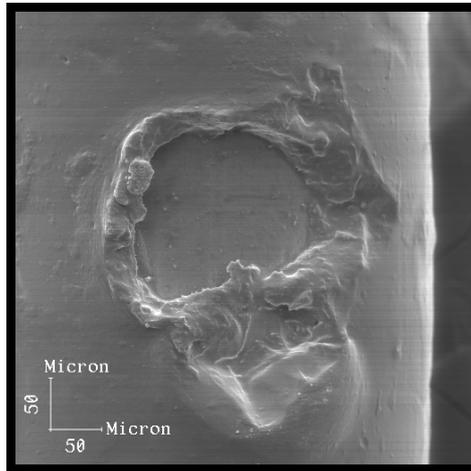


Figura 56 - Micrografia do fio recoberto Morelli com aumento de 200 X mostrando falha do recobrimento Morelli (bolha) (MEV).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO:

5.1 Análise Estatística:

A análise estatística dos dados foi feita utilizando-se a tabela ANOVA de três fatores para cada braquete isoladamente e em relação aos três braquetes juntos, como foi citado anteriormente. Para verificar se havia diferença significativa entre as médias, levou-se em consideração o *p-level*, onde valores menores que 0,05 traduzem essa significância.

A distribuição normal dos resíduos das forças máximas para os três tipos de braquetes analisados isoladamente e em relação aos três braquetes em conjunto dos dados apresentados (gráficos das Figuras 57 a 60) permite utilizar os resultados sem transformação. Tal normalidade pode ser observada através da reta traçada sobre os valores das observações. Isto denota que, apesar de ter uma grande variação, os dados estão dentro da normalidade, aumentando a confiabilidade da análise estatística dos resultados.

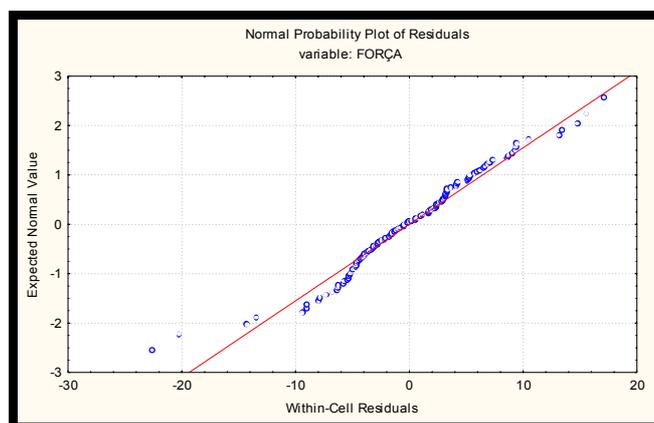


Figura 57 – Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de aço inoxidável Morelli.

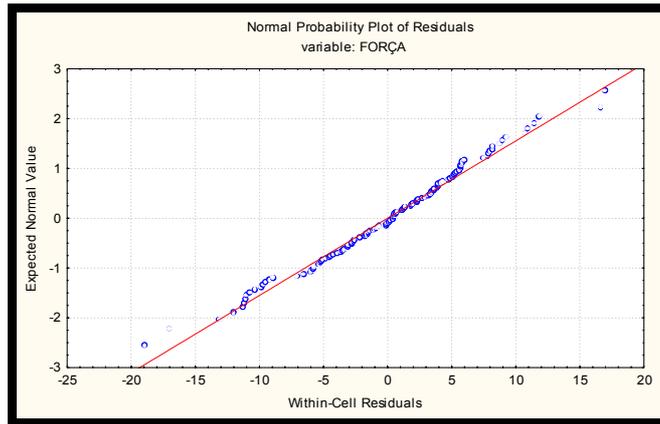


Figura 58 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de cerâmica MXi.

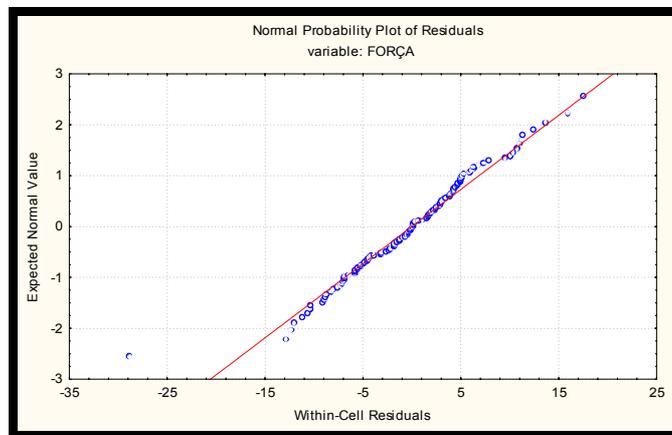


Figura 59 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para o braquete de cerâmica Mystique.

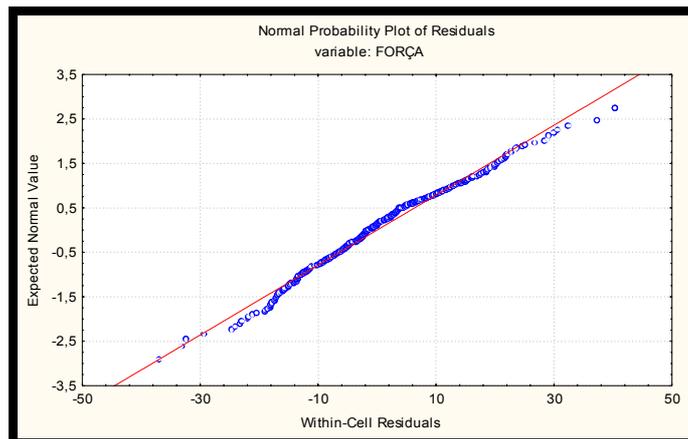


Figura 60 - Gráfico da normalização da distribuição dos resíduos dos dados da força máxima para todos os braquetes analisados.

Todas as situações avaliadas pela análise de variância, mostradas na Tabela 3 do anexo I, confirmam que existe uma diferença significativa entre as médias da força máxima para o braquete de aço inoxidável Morelli. Isto comprova que a ligadura, o ambiente e os fios interferem significativamente na obtenção da força máxima no sistema de deslizamento no braquete de aço Morelli. A mesma situação ocorre com o braquete da Mystique, como pode ser constatada na Tabela 5 do anexo I.

Para o braquete MXi, de acordo com a análise de variância, pode-se observar que a diferença das médias da força máxima obtidas no sistema de deslizamento que o contém é significativa com relação às ligaduras e aos fios ortodônticos utilizados. No entanto, em relação ao ambiente seco ou úmido, o mesmo não ocorre (Tabela 4 do anexo I). Este resultado indica que o tipo de ligadura e o tipo de fio são importantes na determinação das intensidades da força máxima. Já o ambiente não exerce influência significativa nos valores analisados isoladamente. Em contrapartida, observa-se que existe influência do ambiente quando a análise das interações é feita com a ligadura ou com os fios.

De acordo com a análise de variância, existe uma diferença significativa entre os valores da força máxima em todas as observações do experimento, quando os três braquetes são analisados em conjunto. Na Tabela 6 do anexo I é possível verificar esta informação.

Uma outra forma de avaliação do efeito das diferentes variáveis é através dos gráficos que apresentam faixas coloridas, as quais correspondem aos valores médios da força máxima das observações. Os eixos x e y representam as variáveis de interesse. Assim, por exemplo, no gráfico da Figura 61, a inclinação das faixas significa o quanto a variável y (ambiente) influencia a variável x (ligadura). Neste caso existe uma inclinação das faixas para a esquerda, o que permite identificar que os valores

diminuem quando a saliva está presente. Ocorre a mudança de faixa de cor onde a média da força é maior para uma faixa de outra cor em que a média é menor, ou seja, ocorre alteração de cor de faixa de acordo com os valores de média da força máxima. Caso as faixas permaneçam na vertical em relação ao eixo x (Figura 64), há indicação que não existe influência da variável que estiver no eixo y sobre as médias da força máxima para o eixo x representado no gráfico. Entretanto, se as faixas estiverem na horizontal em relação ao eixo x (Figura 73), pode-se dizer que não existe influência desta variável sobre as médias da força máxima em relação ao eixo y em questão. As cores no tom de verde traduzem as médias menores e as no tom de vermelho correspondem aos valores de médias maiores. Sempre existirão apenas duas variáveis sendo avaliadas. Porém, a área do gráfico, ou seja, o comportamento das faixas coloridas, corresponde às médias da força máxima dos corpos-de-prova com as demais variáveis que não estão explícitas no gráfico a ser avaliado. O sistema sempre tem o braquete, o fio, a ligadura e a presença ou não de saliva.

Além disso, o gráfico simula uma passagem gradual entre as combinações. Os números decimais representados nos eixos x e y comprovam essa simulação que é feita pelo programa Statistic. Os números inteiros de cada eixo são os representantes das combinações propriamente ditas. Sendo assim, observam-se as seguintes numerações: ambiente seco (1) e úmido (2); ligadura Morelli (1) e TP (2); fio aço inoxidável Morelli(1), NiTi Morelli (2), NiTi recoberto GAC (3), NiTi recoberto Morelli (4); braquete aço inoxidável Morelli (1), MXi (2), Mystique (3).

5.1.1 Braquete de Aço Inoxidável Morelli:

Os gráficos a seguir ilustram melhor e comprovam o comportamento entre as combinações do sistema de deslizamento em questão para a superfície do braquete de aço inoxidável Morelli. Assim é possível sugerir qual situação seria ou não favorável para se conseguir um deslizamento adequado.

Na Figura 61 tem-se o gráfico que permite avaliar a influência do tipo de ligadura e do ambiente na obtenção da força máxima. Pode-se observar que a ligadura TP produz valores inferiores da força máxima, porém o meio influencia o sistema, uma vez que a presença de saliva determina uma queda dos valores desta força. Esta variação é perceptível através da inclinação das faixas coloridas para a esquerda.

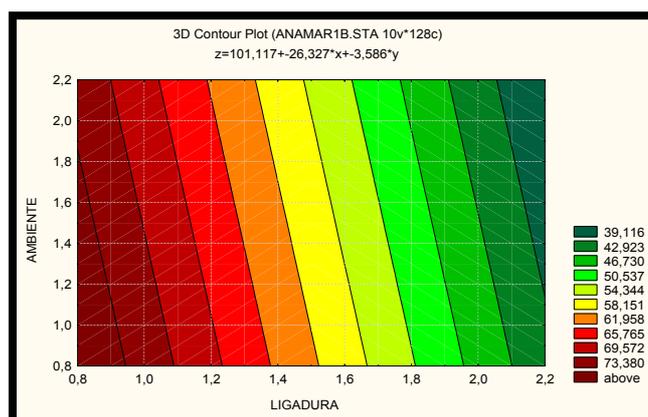


Figura 61 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de aço inoxidável Morelli .

Na Figura 62 observa-se que a força máxima necessária para se deslizar o fio no *slot* do braquete de aço inoxidável é mais elevada nos fios recobertos do que nos fios sem recobrimento. Entretanto, comparando-se os fios recobertos entre si, o fio GAC apresenta valores menores que o Morelli; porém, estes valores são próximos entre si. Em ambiente úmido sempre existe uma queda no valor da força máxima.

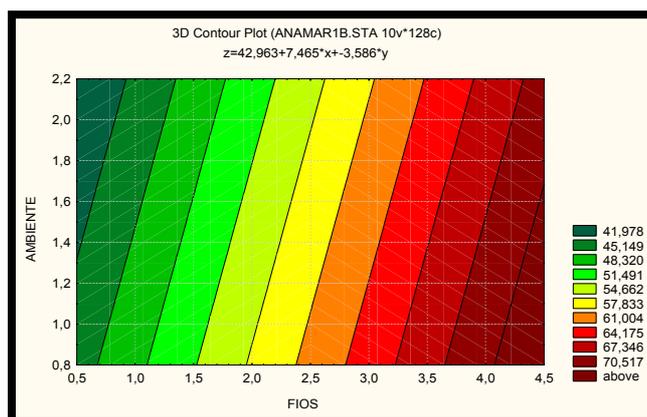


Figura 62 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de aço inoxidável Morelli.

Quando são comparados os fios sem recobrimento e os recobertos, com a influência do tipo de ligadura Morelli ou TP, pode-se identificar valores menores com a presença da ligadura TP, como é mostrado no gráfico da Figura 63. Desta forma, o tipo de ligadura permite a diminuição da força máxima necessária para deslocar o fio recoberto por 4mm dentro de um *slot* de braquete de aço Morelli. A ligadura TP proporciona valores em torno de 47,150 gf para o fio recoberto GAC e de 59,280 gf para o fio recoberto Morelli. No entanto, o mesmo não ocorre com a ligadura Morelli, onde os valores variam de 77,476 gf para o fio GAC e de 83,542 gf para o fio recoberto Morelli. Os fios sem recobrimento mostraram resultados baixos em relação aos recobertos, com ambas as ligaduras.

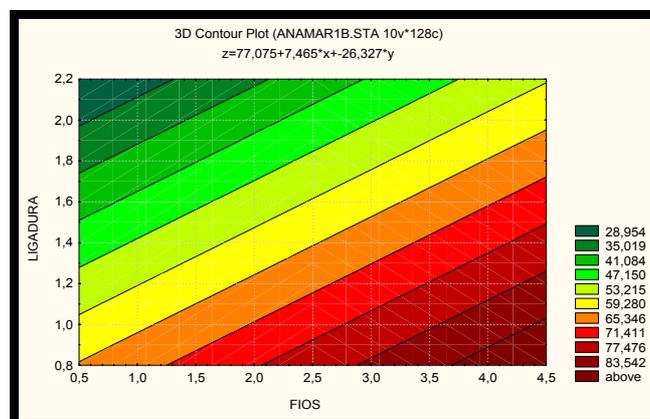


Figura 63 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de aço inoxidável Morelli.

5.1.2 Braquete de Cerâmica MXi:

Os gráficos a seguir ilustram o comportamento entre as combinações do sistema de deslizamento em questão para a superfície do braquete de cerâmica MXi.

No braquete cerâmico MXi não há diferença expressiva em relação ao fato de a ligadura estar ou não em ambiente seco ou úmido. Isto pode ser observado na Figura 64, onde as forças permanecem na mesma faixa de valores, não importando o ambiente do ensaio. Todavia, a ligadura TP determina valores menores da força do que a ligadura Morelli.

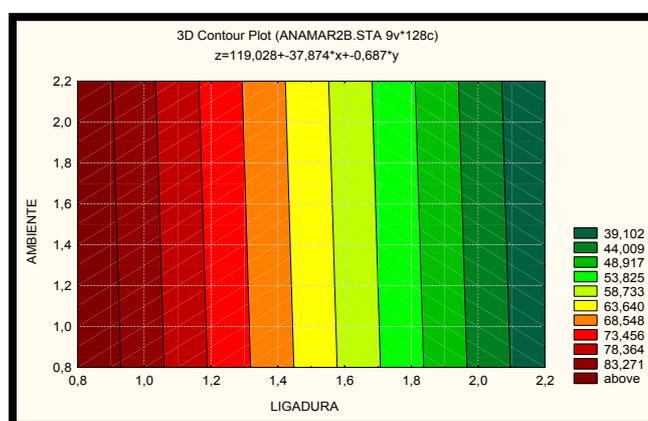


Figura 64 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica MXi .

Na Figura 65, mostra-se que para o braquete MXi o ambiente, seco ou úmido, não altera os valores das forças. Note que as faixas são quase verticais, o que comprova esta observação. É válido relatar que nos ensaios com este braquete foram obtidos valores baixos para o fio ortodôntico GAC, comparados aos valores obtidos com fio recoberto Morelli.

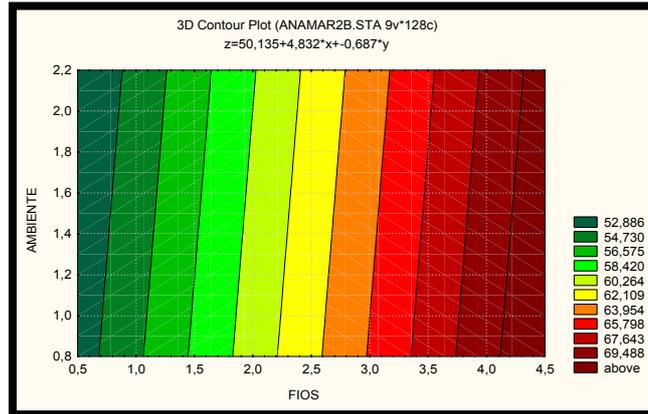


Figura 65 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ambiente (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica MXi.

Dentre as ligaduras, a TP proporciona valores menores da força máxima, como é mostrado na Figura 66. As forças máximas variam entre as faixas de 44,742 a 51,320 gf para fios recobertos GAC e Morelli, respectivamente. Estes valores são menores que os valores obtidos na correlação entre os fios e o ambiente, seco ou úmido, mostrados na Figura 65. Isto sugere que podem ser obtidos valores da força máxima baixos em fios recobertos, dependendo da ligadura usada no sistema de deslizamento, e que a ligadura pode determinar uma maior influência no valor da força máxima do que o ambiente. Pode-se dizer também que estes valores estão próximos aos obtidos com os fios sem recobrimento. O mesmo não ocorreu com o braquete de aço da Figura 63, onde se tem uma inclinação maior das faixas e, conseqüentemente, uma maior diferença entre as médias da força.

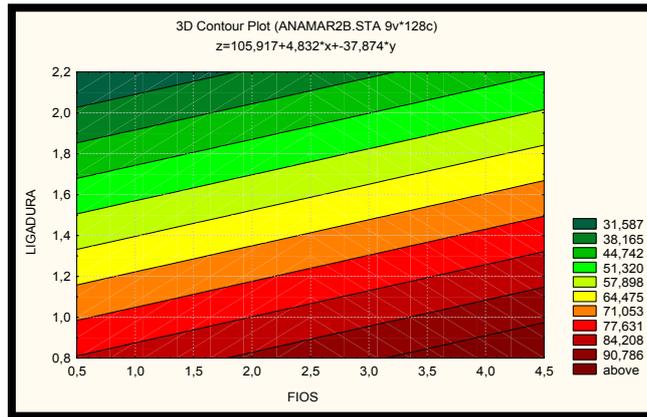


Figura 66 -Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC(3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de cerâmica MXi.

5.1.3 Braquete de Cerâmica Mystique:

Os mesmos tipos de gráficos foram obtidos para o braquete Mystique. No gráfico da Figura 67 mostra-se que o ambiente proporciona mudanças nos valores da força máxima, dependendo do tipo de ligadura utilizada no sistema. Encontra-se para ligadura Morelli uma força de 80,266 gf em ambiente seco e de 70,649 gf no ambiente úmido. Com a TP esta variação ocorre na mesma proporção, pois é de 51,415 gf em ambiente seco para 41,798 gf em ambiente úmido. Entretanto, em ambas as situações a ligadura TP produz forças menores, principalmente se a saliva estiver presente.

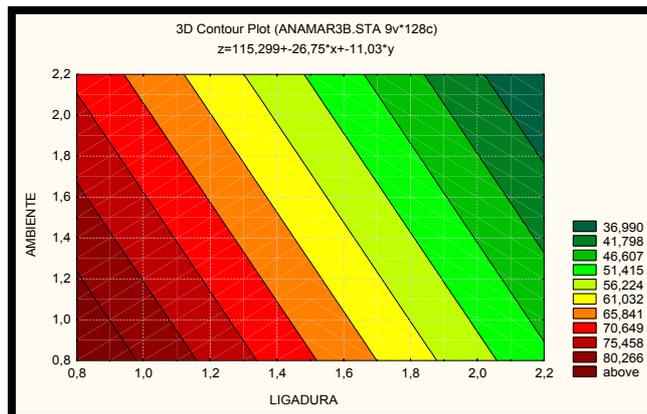


Figura 67 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica Mystique.

De acordo com a Figura 68, o ambiente úmido favorece a obtenção de valores menores da força máxima. No fio recoberto Morelli, apesar de ele apresentar valores mais elevados em relação aos outros fios, a presença de um ambiente úmido determina a possibilidade de se conseguirem valores médios da força máxima de 64,080 gf. Esta faixa de média se aproxima da condição do fio GAC em ambiente seco.

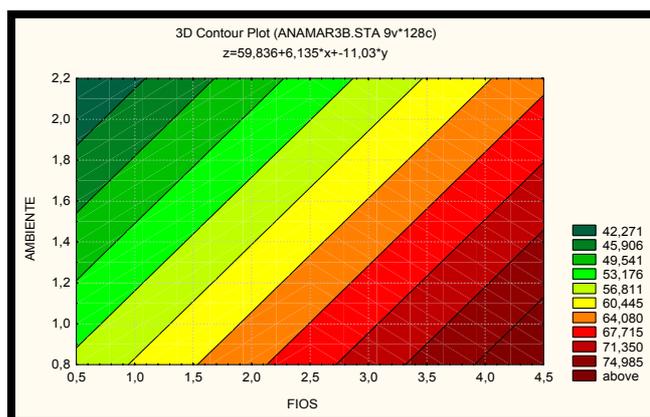


Figura 68 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) X ambiente (eixo y) seco (1) e saliva (2) em braquete de cerâmica Mystique.

Com relação às ligaduras, foi possível constatar que a ligadura TP contribui para a queda dos valores da força máxima. Assim, na Figura 69, nota-se que os fios recobertos juntamente com a ligadura TP geram forças menores do que os mesmos fios com a ligadura Morelli. Pode-se inclusive observar a situação em que o fio recoberto Morelli com ligadura TP apresenta os valores da força menores que o fio de aço inoxidável com ligadura Morelli. Isto sugere a possibilidade de o uso do fio recoberto Morelli com ligadura TP ser favorável a este braquete.

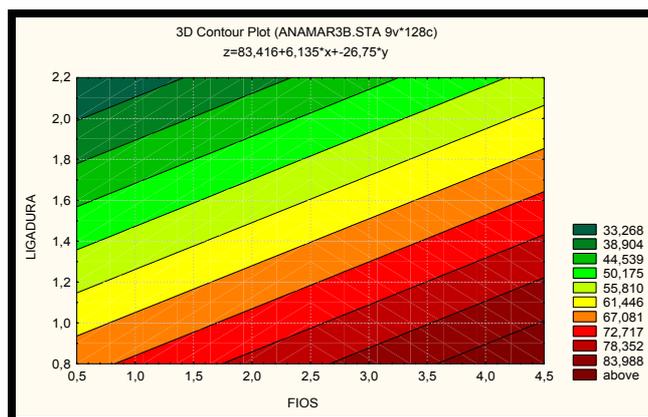


Figura 69 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em braquete de cerâmica Mystique.

5.1.4 Avaliação das observações para os três braquetes:

Os gráficos a seguir ilustram as combinações do experimento, analisando inclusive comparativamente a influência dos braquetes entre si, os quais até o momento estavam sendo considerados de forma individual. Aqui o fio e o braquete de aço inoxidável (grupo controle) recebem valores menores para a análise.

É mostrado na Figura 70 que entre as duas ligaduras, a TP gera forças máximas menores em relação à ligadura Morelli. Este valor é menor se o ambiente for úmido; neste caso, para ambas as ligaduras. O ambiente, de uma forma geral, facilita o deslizamento do fio no *slot*, e se a ligadura TP fizer parte do sistema, os valores são significativamente menores.

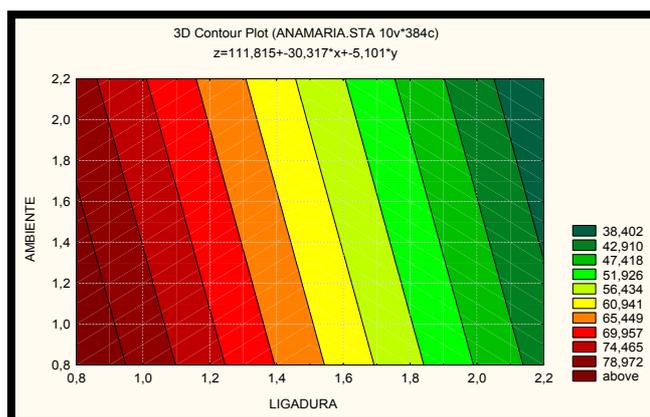


Figura 70 - Gráfico das ligaduras (eixo x) Morelli (1) e TP (2) versus ambiente (eixo y) seco (1) e saliva (2) em todos os braquetes analisados.

A relação dos fios com o ambiente é mostrada na Figura 71 e traduz que os fios não recobertos apresentam forças máximas menores que os fios recobertos. Entretanto, se o ambiente for úmido, estes valores são menores em todos os fios.

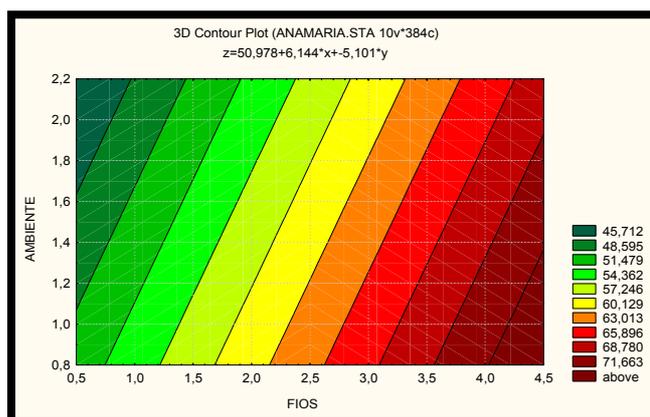


Figura 71 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2) em todos os braquetes analisados.

Na Figura 72 é possível constatar que para todos os fios mostrados neste gráfico existe uma grande vantagem em utilizar a ligadura TP. Ela proporciona uma queda de quase 50% nos valores médios da força máxima conseguidos com os mesmos fios associados à ligadura Morelli. Ademais, neste gráfico revela-se que o uso da ligadura TP proporciona valores menores para os fios recobertos em comparação ao uso da ligadura Morelli a seco para fios sem recobrimento.

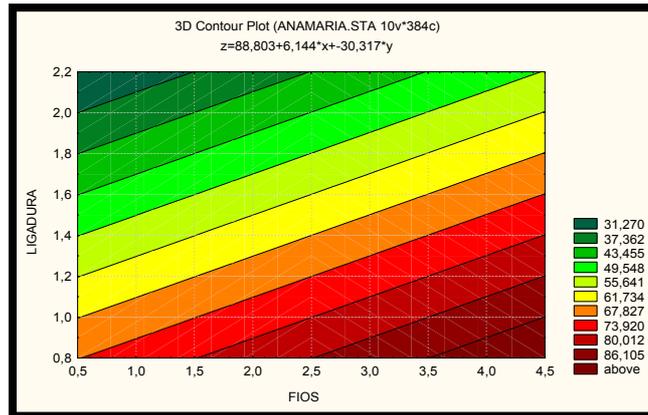


Figura 72 - Gráfico dos fios (eixo x) aço inoxidável (1), NiTi (2), GAC (3), recoberto Morelli (4) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2) em todos os braquetes analisados.

Os braquetes de aço inoxidável Morelli, de cerâmica MXi e Mystique não mostraram alterações entre suas médias da força máxima, como é mostrado na Figura 73, quando avaliados para um mesmo tipo de ligadura. Identifica-se que os braquetes associados à ligadura TP promovem menores valores da força máxima, o que favorece o sistema de deslizamento mecânico. Isto sugere que seria possível encontrar um coeficiente de atrito baixo, uma vez que o coeficiente de atrito é proporcional à força necessária para provocar o deslocamento do objeto em questão.

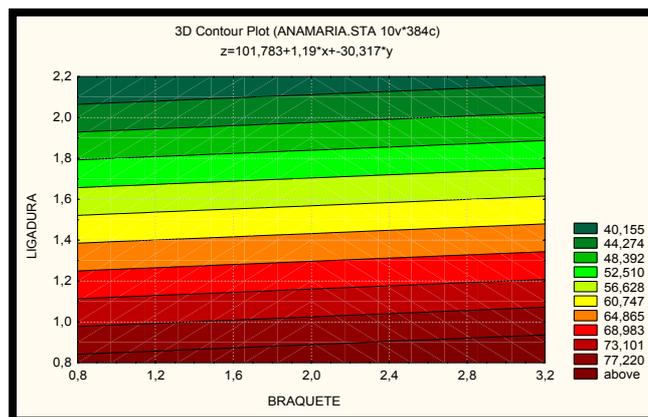


Figura 73 -Gráfico dos braquetes (eixo x) aço inoxidável Morelli (1), MXi (2), Mystique (3) versus ligaduras (eixo y) Morelli (1) e TP (2).

Quando submetemos os braquetes a dois ambientes diferentes, observa-se que o ambiente úmido gera valores menores (Figura 74). Em ordem crescente de aumento da força, tem-se o braquete de aço inoxidável Morelli, o de cerâmica MXi e,

finalmente, o Mystique. Podem-se encontrar valores menores com a presença de saliva.

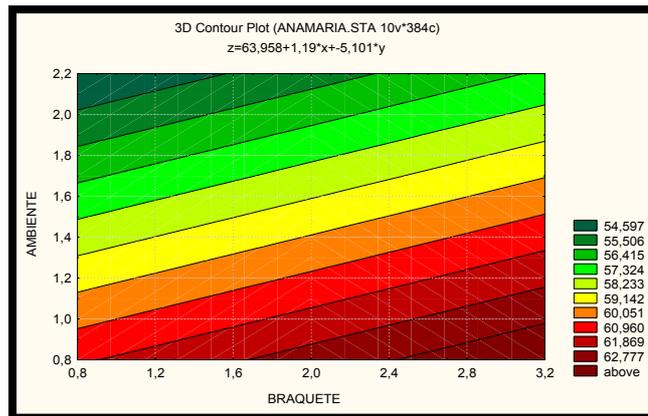


Figura 74 - Gráfico dos braquete (eixo x) aço inoxidável (1), MXi (2),Mystique (3) versus ambientes (eixo y) seco (1) e saliva (2).

Avaliando-se a Figura 75, concluiu-se que os braquetes não apresentaram diferenças quando comparados a um mesmo fio ortodôntico. Os valores da força permaneceram na mesma faixa de média. O gráfico sugere que o fio NiTi recoberto Morelli necessita de força máxima maior para iniciar o deslizamento. Todavia, os valores sofrem um pequeno aumento com o uso do braquete cerâmico.

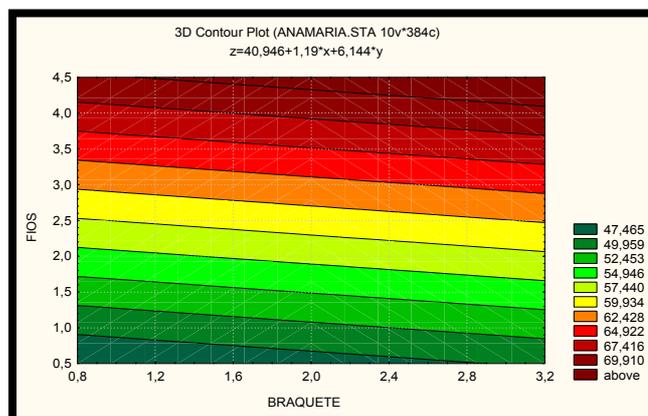


Figura 75 - Gráfico dos braquetes (eixo x) aço inoxidável (1), MXi (2), Mystique (3) versus fios (eixo y) aço inoxidável (1), NiTi (2),GAC (3), recoberto Morelli (4).

5.2 Avaliação dos Fios Ortodônticos:

Atualmente existem vários tipos de ligas para manufaturar fios ortodônticos. Os fios recobertos formam um grupo de fios inovadores que são utilizados para favorecer a estética e, concomitantemente, reduzir a força de atrito que ocorre no deslocamento do fio no *slot* do braquete. Entretanto, os dados da literatura que apresentam os benefícios ou desvantagens destes fios ainda são escassos. HUSMANN et al (2002) relatam, por exemplo, que fios recobertos com *Teflon*[®] e polietileno por implantação iônica reduzem o coeficiente de atrito em relação aos fios não recobertos do mesmo fabricante. A taxa de redução da força de atrito dos fios recobertos varia de 48,3 % a 6,1%, e com *Teflon*[®] a diminuição foi de menos de 10 % em alguns casos.

De acordo com a revisão bibliográfica, vários fatores influenciam na força de atrito produzida para determinar o movimento dentário. Dentre os fatores, pode-se citar o material, o tamanho e a angulação do *slot* do braquete; dimensões e liga do fio; tipo de ligadura; presença de lubrificante (saliva), placa bacteriana, película adquirida, corrosão e intensidade da força ortodôntica (ANGOLKAR et al, 1990; SAUNDERS e KUSY, 1994; VAUGHAN et al, 1995; OGATA et al, 1996; ELIADES T. et al, 2000; HUSMANN et al, 2002). Sendo assim, qualquer modificação em uma destas variáveis irá alterar a força de fricção entre a superfície do *slot* e o fio ortodôntico. Com isso, o recobrimento ou refinamento da superfície do fio pode influenciar o comportamento da fricção, não só modificando a superfície para diminuir o atrito como também para influenciar a estética, as propriedades corrosivas e a durabilidade mecânica destes fios, como afirmam HUSMANN et al (2002).

No presente estudo houve inicialmente a preocupação em se preparar a superfície para receber o recobrimento desenvolvido em conjunto com a empresa Morelli, visto que a adesão do mesmo ao fio é fundamental para garantir o bom

funcionamento do sistema e evitar perda de material, o que causaria uma modificação local do sistema de deslizamento e a possível ingestão de fragmentos pelo paciente. O preparo do fio selecionado foi o ataque químico, o qual proporcionou uma boa aderência do recobrimento, sem resíduos tóxicos, ao substrato, fato comprovado pela avaliação da integridade do recobrimento após os testes de fricção (Figuras 53 e 54). Os fios recobertos da GAC apresentaram, de forma geral, forças de atrito menores do que os fios recobertos Morelli. Entretanto, foi observada alguma perda de recobrimento, fato este não identificado nos fios recobertos Morelli. A perda do recobrimento dos fios GAC ocorreu somente em corpos-de-prova utilizados com os braquetes de aço inoxidável Morelli; nos testes com braquetes cerâmicos o recobrimento do fio foi mantido. Nos fios recobertos Morelli, apenas foi identificada uma região de perda de continuidade do recobrimento, a qual foi associada à falha na aplicação do filme. HUSMANN et al (2002) também realizaram preparo prévio da superfície do fio de NiTi, porém o método realizado foi o de plasma com oxigênio. Este preparo gera formação de óxido na superfície do fio, o que favorece o deslizamento superficial. PRATTEN et al (1990) também acreditam nesta influência favorável da camada de óxido. Dessa forma, um tratamento prévio diferente pode vir a solucionar esta questão.

O recobrimento polimérico de resina epoxídica feito pela Morelli foi aplicado por eletrostática do pó em vez de atomização (HUSMANN et al, 2002). No entanto, assim como no experimento de HUSMANN et al (2002), houve algumas dificuldades para recobrir o substrato. Dentre elas, a de conseguir uma camada uniforme, além de manter a mesma espessura em toda extensão do fio ortodôntico. Em relação ao fio recoberto GAC, não há informações disponíveis na literatura referente à técnica de deposição da resina epoxídica, e também a empresa não fornece informações. O relato que se tem é de que o fio é recoberto por resina epoxídica com a coloração próxima à

cor do dente.

Quanto à uniformidade da superfície dos fios envolvidos no experimento, observa-se que os fios de aço apresentam a superfície mais uniforme do que os fios de NiTi sem recobrimento, confirmando os relatos de GARNER et al (1986), KUSY et al (1988), PRATTEN et al (1990). Dentre os fios recobertos, o NiTi recoberto GAC apresenta um maior número de imperfeições do que o fio recoberto Morelli (Figuras 33 e 36). Entretanto, os melhores resultados da força máxima entre os fios recobertos foram obtidos para o fio GAC. Tal comportamento pode resultar do fato da espessura do recobrimento da GAC ser menor do que o recobrimento desenvolvido em conjunto com a Morelli. Isto foi comprovado quando se realizou a medida do diâmetro dos fios em milímetros. Além disso, pode ser considerado que a escala de rugosidade do recobrimento, que realmente proporciona um aumento na força de atrito, seja menor do que as ondulações visíveis da superfície.

5.3 Avaliação dos Braquetes e das Ligaduras:

Com a caracterização dos acessórios é possível, comparativamente, enumerar as superfícies dos fios, ligaduras e braquetes em ordem crescente de homogeneidade de superfície. Esta informação possibilita identificar quais os tipos de combinações que seriam melhores, ou seja, que determinariam menor força máxima e, conseqüentemente, menor coeficiente de atrito.

Nas análises de superfície dos acessórios do sistema de deslizamento ensaiado neste experimento, observou-se que o braquete Mystique apresenta a superfície irregular (Figura 41), confirmando os dados encontrados na literatura, os quais citam a existência de imperfeições no *slot* dos braquetes cerâmicos (ANGOLKAR et al, 1990; PRATTEN et al, 1990; SAUNDERS e KUSY, 1994; TANNE et al, 1994; KARAMOUZOS et al,

1997). No entanto, o braquete cerâmico confeccionado pelo processo de moldagem por injeção, como é o caso do MXi, apresenta uma superfície uniforme, contrariando as informações da literatura (<http://www.tportho.com>). Portanto, é de suma importância saber qual o processo utilizado para confeccionar a peça cerâmica porque, dependendo do processo, a peça final terá maior ou menor rugosidade. Antigamente a confecção dos braquetes de cerâmica passava pela etapa de usinagem, provocando muitas ranhuras em sua superfície, prejudicando o deslizamento e aumentando o coeficiente de atrito dos fios que deslizavam em seu *slot* (ANGOLKAR et al, 1990; NISHIO, 2000). Todavia, o braquete de aço Morelli, analisado no presente trabalho, apresentou a superfície irregular (Figura 39); e na literatura, os braquetes de aço inoxidável são identificados como livres de imperfeições em oposição aos cerâmicos que apresentam irregularidades superficiais. Sendo assim, o arrancamento do recobrimento do fio GAC, causado quando o braquete de aço inoxidável foi utilizado pode ter sido provocado por dois fatores: as próprias irregularidades ou o material da superfície do braquete, o aço inoxidável. É importante ressaltar que com os braquetes cerâmicos o mesmo não ocorreu, embora o braquete Mystique, que é cerâmico, também apresentasse irregularidades na superfície. Assim, seria válido testar o atrito deste fio com outro tipo de braquete de aço inoxidável para verificar se o tipo de material do braquete foi o responsável pela perda do recobrimento e não a presença de irregularidades na superfície.

Com base na Tabela 6, que mostra os resultados da análise estatística ANOVA, os braquetes apresentam diferenças significativas entre si para a obtenção das forças máximas. Isto poderia ser atribuído aos tipos de superfície de cada um deles. Entretanto, dependendo do parâmetro do braquete que está sendo analisado e de acordo com os gráficos de faixas, pode-se verificar que os valores médios da força máxima podem

estar dentro de uma mesma faixa para os três braquetes (Figura 73). Neste caso, a superfície não está exercendo influência alguma, fato este que pode ser atribuído ao desvio padrão, o qual é elevado para determinados grupos de amostras. Desta forma, poderia ser necessário aumentar o número de corpos-de-prova para tentar diminuir estes valores.

Com relação às ligaduras elastoméricas, não há dúvida de que elas precisam possuir características específicas, como as presentes na ligadura TP, para que possam produzir melhores resultados na mecânica de deslizamento. Tal resultado é comprovado pela análise dos gráficos de faixas, onde os menores valores estão sempre relacionados à ligadura TP. As ligaduras determinam a pressão que prende o fio ao braquete e, conseqüentemente, a força de atrito nas superfícies de ambos os acessórios. A ligadura TP apresenta uma superfície homogênea e arredondada, como foi comprovado em análise no MEV mostrado nas Figuras 44 (c e d), o que favorece o deslizamento. A ligadura Morelli tem sua superfície irregular e ângulos vivos, o que determina um atrito maior entre as superfícies. A recuperação elástica das ligaduras também não foi avaliada, embora esta deva ser levada em consideração.

Sendo assim, os resultados com relação às ligaduras estão de acordo com o esperado, e a ligadura TP obteve resultado melhor em todos os casos avaliados.

5.4 Avaliação das Forças Máximas de Atrito:

A força de atrito é igual ao coeficiente de atrito vezes a força de compressão sobre esta superfície (BEDNAR et al, 1991), sendo que esta última não foi avaliada neste estudo, o que impossibilitou o cálculo do coeficiente de atrito. No entanto, o coeficiente de atrito é diretamente proporcional à força máxima de atrito (BEDNAR et al, 1991). Por este motivo mediu-se apenas a força máxima de atrito e considerou-se a

força normal constante.

Conferidas e analisadas as médias da força máxima de atrito relacionadas aos fios recobertos, observou-se que os valores menores foram obtidos pelo fio GAC quando o braquete cerâmico MXi fazia parte do sistema de deslizamento, seguindo em ordem crescente para o braquete Mystique e finalmente para o braquete de aço Morelli. Entretanto, sendo avaliados os valores da força do fio recoberto Morelli com os braquetes, as menores forças foram obtidas com o braquete de aço inoxidável, seguido do Mystique e finalmente do MXi. Isto é comprovado através dos gráficos de barra das Figuras 45,46 e 47. Neste caso, nos gráficos de barra, a avaliação da força máxima é considerada uma condição específica, ou seja, um tipo de braquete, fio, ligadura, ambiente e com a suposição de que não há interações. Por conseguinte, o comportamento descrito para o fio GAC pode ser devido à facilidade de deslizamento deste recobrimento em braquetes cerâmicos, uma vez que a perda do recobrimento ocorreu em braquetes de aço inoxidável. E foi com este braquete que se obtiveram maiores valores da força de atrito para o fio recoberto GAC. O tipo de material do braquete (aço inoxidável ou cerâmico) pode ter influenciado a intensidade da força de atrito. Todavia, em relação ao fio recoberto Morelli, pode não ter havido arrancamento do recobrimento quando o braquete de aço inoxidável foi utilizado porque ele proporcionou valores da força máxima menores em comparação aos conseguidos com o fio GAC. Tais valores não tornariam possível a perda do recobrimento.

Ao ser analisado o gráfico de faixas (Figuras 75), onde as variáveis (fios e braquetes) são relacionadas estatisticamente, pode-se dizer que não há diferença entre os braquetes ao ser considerado o mesmo fio. Os elevados valores do desvio padrão podem determinar esta situação de igualdade de forças entre os braquetes. No entanto, quando se avalia o ambiente em que os braquetes se encontram (Figura 74), vale

salientar que, apesar do braquete Mystique possuir a superfície irregular, ele pode gerar valores próximos aos valores conseguidos com o braquete MXi, tanto em ambiente seco como em ambiente úmido, apresentando este último valores menores. PRATTEN et al (1990) relatam que a presença da saliva constitui um fator preponderante na fricção em relação à rugosidade. Aqui pode ser o caso.

Apesar do fio recoberto Morelli possuir os valores mais elevados entre os quatro fios testados, dependendo da combinação, ele oferece valores próximos aos das combinações dos sistemas que tradicionalmente produzem menor atrito, por exemplo, as combinações onde se tem a ligadura TP, fio de aço inoxidável e saliva. O menor valor da força de atrito para o fio recoberto Morelli, dentre todas as combinações testadas, foi obtido para o sistema com a combinação: fio recoberto Morelli, braquete Mystique, ligadura TP e presença de saliva. Desta forma, o presente estudo estaria parcialmente de acordo com HUSMANN et al (2002) no que se refere à queda da força de atrito em fios recobertos, pois esta queda depende das variáveis do sistema em avaliação. Se não houver uma combinação específica dentre os acessórios, não é possível obter valores baixos da força máxima de atrito.

Através da análise dos gráficos de faixa, é possível também identificar o efeito das ligaduras, do ambiente e dos fios sobre cada tipo de braquete, isoladamente. A seguir será estabelecido um paralelo entre estes valores obtidos nos braquetes avaliados isoladamente e em conjunto.

Ao se comparar as variáveis ambiente e ligadura nos ensaios com braquete MXi, observou-se que não houve influência marcante do ambiente sobre as ligaduras (Figura 64). Já no braquete de aço inoxidável, notou-se uma alteração da força na presença de saliva (Figura 61). Os valores, neste caso, tendem a diminuir. Entretanto, nos ensaios com Mystique, ocorreu maior modificação nos valores da força quando o

ambiente era alterado (Figura 67). Isto pode se dever ao fato de que, possuindo uma superfície mais irregular, a saliva favorece o deslizamento, como previamente comentado. O gráfico em que os três braquetes são analisados em conjunto indica que a mudança de ambiente resulta em valores menores da força de atrito (Figura 70). Entretanto, de modo geral, a ligadura TP, em todos os casos, produziu menores forças de atrito.

Avaliados o ambiente e os fios, observou-se que no braquete MXi, o ambiente não interfere nos valores da força (Figura 65). Já no braquete de aço inoxidável o ambiente promove redução nos valores (Figura 62); e no Mystique, a influência da presença de saliva é determinante para reduzir os valores da força (Figura 68). Todavia, quando foram avaliados os três braquetes em conjunto, verificou-se que o ambiente úmido afeta positivamente a força máxima de atrito, uma vez que a presença da saliva reduz os valores da força (Figura 71). Com relação aos fios, constatou-se que em todos os gráficos os fios recobertos geram forças de atrito superiores aos fios sem recobrimento.

Com a análise dos efeitos das variáveis ligaduras e fios, foi possível relatar que nos três braquetes a ligadura TP promoveu queda nos valores da força, principalmente no braquete MXi (Figuras 63, 66 e 69). Este resultado pode ser associado a dois fatores: as características da ligadura - a forma e a presença de uma cobertura de um polímero que facilita o deslizamento quando em contato com a saliva - e a presença de saliva. Com ambiente úmido os valores são menores, confirmando os relatos do fabricante. Nos gráficos em que os braquetes são analisados, obtém-se o mesmo resultado (Figura 72).

Na avaliação do gráfico de braquetes versus ligaduras ou fios ortodônticos, notaram-se comportamentos praticamente idênticos (Figura 73 e 75). Porém, quando se compara o ambiente, verifica-se que a presença de saliva diminui os valores da

força (Figura 74). É importante salientar que, nesta avaliação de ambiente versus braquetes, eles se apresentam na seguinte ordem crescente de resistência ao atrito: aço inoxidável Morelli, MXi e Mystique.

De acordo com os resultados, a combinação mais coerente, que poderia sugerir um sistema de deslizamento mais adequado ao tratamento ortodôntico e em que o fio estético estivesse presente, proporcionando valores da força máxima baixos, seria o sistema com presença de saliva, ligadura TP, fio recoberto Morelli e braquete MXi. Não seria aconselhável o emprego do braquete Mystique, apesar de ele ter apresentado forças máximas menores em relação aos fios recobertos, porque de acordo com a análise estatística dos braquetes cerâmicos, o MXi ofereceu menor resistência ao atrito. O sistema mais indicado seria composto pelos acessórios que proporcionaram os menores valores da força máxima de atrito para o fio recoberto. Considerou-se também o fio que apresentou menores problemas com relação à integridade do recobrimento e à adesividade.

6 CONCLUSÃO:

- Os fios recobertos, de forma geral, induzem forças máximas de atrito maiores que os fios sem recobrimento;
- Dentre os fios recobertos, o fio GAC apresenta forças de atrito menores que o Morelli. No entanto, dependendo da combinação avaliada, é possível encontrar valores menores para o fio recoberto Morelli que os obtidos com fios de aço em ambiente seco;
- O fio recoberto Morelli não apresentou perda de recobrimento após os testes de atrito; o mesmo não ocorreu com o fio GAC;
- Dentre os fios recobertos, o fio Morelli, embora apresentasse forças de atrito estático maiores, apresentou melhor qualidade de recobrimento;
- A saliva é um facilitador do deslizamento dos fios, pois promove queda nos valores da força de atrito estático;
- Em todas as combinações, a ligadura TP favorece a obtenção de menores valores de força máxima de atrito em relação à Morelli;
- O ambiente não influenciou significativamente na queda dos valores de força máxima quando se analisou o braquete MXi isoladamente;
- No braquete Mystique é possível produzir forças máximas menores em ambiente úmido e com a ligadura TP no sistema de deslizamento. Esta situação favorece muito o uso do fio recoberto;
- No braquete Mystique existe uma variação muito grande do comportamento das combinações propostas, talvez devido à rugosidade presente na superfície. Não há um padrão de comportamento da força de atrito;
- Os menores valores de força máxima estão relacionados com a ligadura TP, fios de

aço e fios de NiTi sem recobrimento, além do ambiente úmido. Os maiores valores da força de atrito aconteceram quando a ligadura Morelli, os fios recobertos e o ambiente seco estavam presentes;

- A avaliação do sistema deve ser realizada, considerando-se todo o conjunto envolvido: braquete, fio ortodôntico, ligadura elastomérica e ambiente;
- Embora os testes tenham mostrado valores elevados da força de atrito quando utilizados os fios recobertos, especialmente o fio Morelli, necessita-se de um vasto uso clínico para saber se o tratamento ortodôntico terá um tempo maior de duração, levando-se em consideração a complexidade biológica envolvida no movimento dentário.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

- Medir a espessura do recobrimento, em pontos diferentes do fio e determinar a influencia do recobrimento na espessura original do fio de NiTi;
- Submeter o fio recoberto a soluções que estão presentes ao meio bucal, alterando o tempo de imersão na substância. Estas soluções podem ser colutórios, refrigerantes ou saliva com pH diferente (ácido ou básico);
- Testar a aplicação do recobrimento tendo como base o fio de aço inoxidável;
- Desenvolver novos materiais de recobrimento como polietileno ou *Teflon*[®];
- Realizar testes “in vivo”.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA:

- ANGOLKAR, PADMARAJ V., KAPILA, SUNIL., DUNCANSON JR, MANVILLE G., AND NANDA, RAM S., 1990, “Evaluation of Friction Between Ceramic Brackets and Orthodontic Wires of Four Alloys” , *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v.98, n.6(Dec), pp. 499 - 506.
- BAZAKIDOU, ELENI, NANDA, RAM S., DUNCANSON, MANVILLE G., 1997, “Evaluation of Frictional Resistance in Esthetic Brackets”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.* v 112, n. 2(Aug), pp. 138 - 144.
- BAKER, KEVIN L., NIEBERG, LEWIS G., WEIMER, ALLAN D., HANNA, MILFORD, 1987, “Frictional Changes in Force Values Caused by Saliva Substitution”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v. 91, n.4(Apr), pp. 316 - 320.
- BEDNAR, GRUENDEMAN, AND SANDRIK, 1991, “Comparative Study of Frictional Forces”, *Am. J. Orthod.Dentofac.Orthop.*, v. 100, n. 6(Dec), pp. 513 - 522.
- BORDEAUX, JOSEPH M., MOORE, ROBERT N., AND BAGBY, MICHAEL D., 1994, “Comparative Evaluation of Ceramic Bracket Base Designs”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v. 105, n.6 (Jun), pp. 522 - 560.
- ELIADES, T., ELIADES, G., ATHANASIOU, A.E. et al, 2000, “Surface Characterization of Retrieved NiTi Orthodontic Archwires”, *European Journal of Orthodontics*, v. 22, pp. 317-326.

- FRANK, CHARLES A., NIKOLAI, ROBERT J., 1980, “A Comparative Study Of Frictional Resistances Between Orthodontic Bracket And Arch Wire”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v.78 , n.6 (Dec), pp.593 - 609.
- FRANCO, DAVID J. DE, SPILLER JR., ROBERT E., FRAUNHOFER, J. A. VON, 1995, “Frictional Resistances Using Teflon-Coated Ligatures with Various Bracket-Archwire Combinations”, *Angle Orthodontist.*, n.1, pp. 63 - 73.
- GARNER, L. D., ALLAI, W.W., MOORE, B.K., 1986, “A Comparison of Frictional Forces during Simulated Canine Retraction of a Continuous Edgewise Arch Wire”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v.90, (sep), pp. 199-203.
- GHAFARI, JOSEPH, 1992, “Problems Associated with Ceramic Brackets Suggest Limiting Use to Selected Teeth”, *Angle Orthodontist*, n.2 (mar./apr), pp. 145-152.
- <http://www.caflon.com.br/> - acesso maio- julho 2003
- http://www.gacmystique.com/dr_create.html - acesso 26/11/2003
- http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/param_quimicos.htm- acesso dezembro 2004
- <http://www.isolucks.com.br/processo.htm> - acesso maio- julho 2003
- <http://www.tportho.com> - acesso maio- julho 2003
- HUSMANN, P., BOURAEL, C., WESSINGER, M., JAGER, A., 2002, “The Frictional Behavior of Coated Guiding Archwires / Das Reibungsverhalten beschichteter Führungsbogen”, *J. Orofac. Orthop/ Fortschr Kieferorthop*, v. 63, n. 3, pp. 199-211.

- KARAMOUZOS, A., ATHANASIOU, ATHANASIOS E., PAPADOPOULOS, MOSCHOS A., 1997, “Clinical Characteristics and Properties of Ceramic Brackets: A Comprehensive Review”, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v.112, n.1(Jul), pp. 34 - 40.
- KEITH, O., KUSY, ROBERT P., WHITLEY, JOHN Q., 1994, “Zirconia Brackets: An Evaluation of Morphology and Coefficients of Friction “, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*,v.106, n.6(Dec), pp. 605 - 614.
- KUSY, ROBERT P., 1997, “A Review of Contemporary Archwires: Their Properties and Characteristics”, *Angle Orthodontist*. n.3, pp.197 - 207.
- KUSY, ROBERT P., WHITLEY, JOHN Q., MAYHEW, MICHAEL J. et al 1988, “Surface Roughness of Orthodontic Archwires via Laser Spectroscopy”, *The Angle Orthodontist*, v.58, n. 1(Jan), pp. 33-45
- KUSY, ROBERT P., WHITLEY, JOHN Q, 1990, “Coefficients of Friction for Arch Wires In Stainless Steel and Polycrystalline Alumina Bracket Slots: I. The Dry State”, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* v.98, n.4 (Oct), pp. 300 - 312.
- KUSY, ROBERT P., WHITLEY, JOHN Q., PREWITT, MARY J., 1991, “Comparison of The Frictional Coefficients for Selected Archwire-Bracket Slot Combinations in The Dry and Wet States”, *Angle Orthodontist*, n. 4, pp. 293 - 302.
- NISHIO, CLARICE, 2000, “*Brackets Cerâmicos - Avaliação in Vitro da Fricção Superficial*”, 102 p, monografia (especialização em ortodontia), Universidade Federal Fluminense.
- OGATA, RANDALL H., NANDA, RAM S., DUNCANSON,MANVILLE G.,

- et al, 1996, "Frictional Resistances in Stainless Steel Bracket-Wire Combinations with Effects of Vertical Defections", *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop*, v. 109, n. 5 (may), pp. 535-542.
- OMANA, HAMID M., MOORE, ROBERT N., BAGB, MICHAEL D., 1992, "Frictional Properties of Metal and Ceramic Brackets". *J. Clin. Orthod.*, v.26, n.7 (Jul), 425-432.
 - PRATTEN DH, POPLI K, GERMANE N, GUNSOLLEY JC., 1990, "Frictional Resistance of Ceramic and Stainless Steel Orthodontic Brackets", *Am J Orthod Dentofac Orthop*, v.98, n. 5 (Nov), pp.398-403.
 - PROSOSKI, ROBERT R., BAGBY, MICHAEL D., ERICKSON, LESLIE C., 1991, "Static Frictional Force and Surface Roughness of Nickel-Titanium Arch Wires", *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.* v.100, n.4 (Oct), pp. 341-348.
 - QUIN, TB., YOSHIKAWA, DK., 1985, "A Reassessment of Force Magnitude in Orthodontics", *Am. J. Orthod.Dentofac.Orthop.*, v. 88, n.3, pp. 252-60.
 - SAUNDERS, C. R., KUSY, R. P., 1994, "Surface Topography and Frictional Characteristics of Ceramic Brackets", *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v.106, n.1(Jul), pp. 76 - 87.
 - SHIVAPUJA, PRASANNA K., BERGER, JEFF., 1994, "A Comparative Study of Convencional Ligation and Self-Ligation Bracket System", *Am. J. Orthod.Dentofac.Orthop.*, v.106, n.5(nov), pp. 472-480.

- STANNARD, JAN G., GAU, JEANNE M., HANNA, MILFORD A., 1986, “Comparative Friction of Orthodontic Wires Under Dry and Wet Conditions”, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v.89, n.6 (Jun), pp. 485 - 491.
- STOREY, E., SMITH, R., 1852, “Force in Orthodontics and Its Relation to Tooth Movement”, *The Australian Journal of Dentistry*, v.56, (Feb), pp. 11-18.
- SCHWARZ, A.M., 1932, “Tissue Changes Incidental to Orthodontics Tooth Movement”, *Int. J. Orthod*, v.18, pp.331-352.
- SWARTZ, MICHAEL L., 1988, “ Ceramic Brackets”, *J. Clin. Orthod.*, v.22, n.2 (Feb), pp. 82-88.
- TANNE, K., MATSUBARA, S., HOTELI, Y., et al, 1994, “Frictional Forces and Surface Topography of a New Ceramic Bracket”, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, v.106, n.3 (Sept), pp. 273 - 278.
- TAYLOR, NIGEL G., ISON, K., 1996, “Frictional Resistance Between Orthodontic Brackets and Archwires in The Buccal Segments”, *Angle Orthodontist.*, v.66, n.3 (may/june), pp. 215 - 222.
- VANZILLOTA, P.S., 2003, *Avaliação in Vitro de Chapas de Titânio com Tratamento de Superfície em Solução Simuladora de Plasma Humano*. M.Sc. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- VAUGHAN, JANET L., DUNCANSON, MANVILLE G., NANDA, RAM S. et al, 1995,“Relative Kinetic Frictional Forces Between Sintered Stainless Steel Brackets and Orthodontic Wires”, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop*, v.107, n.1 (jan), pp. 20-27.

9 ANEXO I

Segue as tabelas ANOVA para análise estatística das combinações onde SQ é a soma dos quadrados, GL é o grau de liberdade, MQ média dos quadrados.

Tabela 3 – Tabela ANOVA para o braquete aço Morelli.

AÇO MORELLI					
Fonte	SQ	GL	MQ	F ₀	p-level
FIOS (A)	14.827,64	3	4.942,55	110,73	0
AMBIENTE SECO /SALIVA (B)	411,41	1	411,41	9,22	0,002982401
LIGADURAS (C)	22.179,87	1	22.179,87	496,90	0
AB	728,98	3	242,99	5,44	0,001568262
AC	1.894,09	3	631,36	14,14	7,00305E-08
BC	931,61	1	931,61	20,87	1,2703E-05
ABC	3.769,16	3	1.256,39	28,15	1,21952E-13
ERRO	4.999,26	112	44,64		
TOTAL	49.742,01	127			

Tabela 4 - Tabela ANOVA para o braquete cerâmico MXi.

MXI					
Fonte	SQ	GL	MQ	F ₀	p-level
FIOS (A)	15.811,13	3	5.270,38	115,94	0
AMBIENTE SECO /SALIVA (B)	15,08	1	15,08	0,33	0,565746188
LIGADURAS (C)	45.902,99	1	45.902,99	1.009,79	0
AB	1.749,65	3	583,22	12,83	2,88347E-07
AC	3.514,41	3	1.171,47	25,77	9,43448E-13
BC	758,84	1	758,84	16,69	8,28548E-05
ABC	3.592,08	3	1.197,36	26,34	5,7399E-13
ERRO	5.091,29	112	45,46		
TOTAL	76.435,48	127			

Tabela 5 - Tabela ANOVA para braquete Mystique

MYSTIQUE					
Fonte	SQ	GL	MQ	F ₀	p-level
FIOS (A)	8.787,43	3	2.929,14	58,07	1,01513E-22
AMBIENTE SECO /SALIVA (B)	3.893,48	1	3.893,48	77,18	2,0714E-14
LIGADURAS (C)	22.898,80	1	22.898,80	453,95	0
AB	5.455,23	3	1.818,41	36,05	2,20547E-16
AC	7.085,68	3	2.361,89	46,82	1,09111E-19
BC	5.095,58	1	5.095,58	101,02	2,50876E-17
ABC	4.495,47	3	1.498,49	29,71	3,31354E-14
ERRO	5.649,69	112	50,44		
TOTAL	63.361,35	127			

Tabela 6 - Tabela ANOVA avaliando os braquetes em conjunto. (Statistic)

1-LIGADURA, 2-AMBIENTE, 3-BRAQUETE, 4-FIOS						
	GL	MQ	ERRO	ERRO		
			GL	MQ	F	p-level
1	1	88237,57	336	46,84595	1883,569	0
2	1	2497,827	336	46,84595	53,32001	2,06953E-12
3	2	780,9079	336	46,84595	16,6697	1,25168E-07
4	3	7136,935	336	46,84595	152,349	0
12	1	1843,06	336	46,84595	39,343	1,09373E-09
13	2	1372,043	336	46,84595	29,28839	1,88322E-12
23	2	911,0755	336	46,84595	19,44833	1,01825E-08
14	3	2446,641	336	46,84595	52,22736	9,85856E-28
24	3	1726,022	336	46,84595	36,84464	1,30679E-20
34	6	3002,566	336	46,84595	64,09445	0
123	2	2471,485	336	46,84595	52,75769	1,18603E-20
124	3	1379,9	336	46,84595	29,45612	6,2278E-17
134	6	859,0423	336	46,84595	18,3376	1,94904E-18
234	6	459,2998	336	46,84595	9,80447	5,77636E-10
1234	6	1286,167	336	46,84595	27,45525	1,24023E-26