

UNIVERSIDADE METODISTA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
ORTODONTIA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS NÍVEIS DE ATRITO
EM BRÁQUETES CONVENCIONAIS E AUTOLIGADOS**

MAURO DOS SANTOS PICCHIONI

São Bernardo do Campo
2007

UNIVERSIDADE METODISTA DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

ORTODONTIA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS NÍVEIS DE ATRITO
EM BRÁQUETES CONVENCIONAIS E AUTO LIGADOS**

MAURO DOS SANTOS PICCHIONI

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Metodista de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE pelo programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA, Área de concentração Ortodontia.

Orientador: Prof.^a Dra. Maria Helena Ferreira Vasconcelos

**São Bernardo do Campo
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA

Picchioni, Mauro dos Santos

Análise comparativa dos níveis de atrito em braquetes convencionais e autoligados / Mauro dos Santos Picchioni. São Bernardo do Campo, 2007

93 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Metodista de São Paulo, Faculdade de Odontologia, Curso de Pós-Graduação em Ortodontia.

Orientação: Maria Helena Ferreira Vasconcelos

1. Atrito 2. Bráquetes autoligados 3. Mecânicas de deslize I. Título

D. Black

D4

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores e/ou meios eletrônicos.

Assinatura do autor (a):

Data:

Dedicatória

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mulher, **Carmem**
e aos meus filhos, **Bruno** e **Giovana**,
que são a razão de minha vida e meus maiores incentivadores.
Desculpem as horas roubadas de nosso convívio,
pelo tempo dedicado ao estudo e obrigado pela paciência.

Agradecimientos

À **Deus**, por todas as graças recebidas

Aos meus pais, **Mauro Picchioni** e **Maria José dos Santos Picchioni**, pelo seu apoio, incentivo e amor dedicado aos filhos. Seu exemplo de ajuda ao próximo sempre será um guia em minha vida.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ortodontia da
Universidade Metodista de São Paulo,
Prof. Dr. MARCO ANTONIO SCANAVINI, pela sua dedicação e incentivo constante,
buscando sempre a excelência em todas as atividades exercidas durante o curso.



À **Prof^a. Dra. MARIA HELENA FERREIRA VASCONCELOS**, pelo seu esforço e dedicação na orientação deste trabalho. Muito obrigado.

Aos Professores **Dr. Danilo Furquim Siqueira, Dr. Eduardo Kazuo Sannomiya, Dra. Fernanda Cavicchioli Goldemberg, Dra. Fernanda Angelieri, Dra. Liliana Avila Maltagliati Brangeli e Dra. Silvana Bommarito**, obrigado pelos esforços no ensino e orientação durante o curso.

Aos colegas e amigos **Annelise, Brito, Cláudia, Fernando, Juliana, Ricardo, Roberto, Tais e Yasushi**. Obrigado pela amizade, carinho, respeito e apoio. Foi uma etapa importante de nossas vidas, que sentiremos saudades, porém espero que esta união não se encerre com o término do curso.

Aos grandes amigos e irmãos de coração, alunos da turma anterior, **André, Gervásio e Márcio**. Sem o convite de vocês, com certeza eu não teria feito o curso. Obrigado pelo apoio.

Aos meus irmãos de espírito, **Rafael e Marcos**, que são amigos, parceiros, confidentes. A verdadeira amizade que nos une só nos fortalece. Espero que nossos vínculos de amizade e trabalho sempre cresçam. Contem sempre comigo, como sei que sempre poderei contar com vocês. Obrigado por tudo.

Aos funcionários do Departamento de Ortodontia da Universidade Metodista de São Paulo, **Célia, Edílson e Marilene**, pela sua dedicação e auxílio durante o curso.

Às funcionárias **Ana e Paula**, pelo seu apoio, paciência e dedicação em relação à todos que precisam de seu auxílio. Vocês são pessoas especiais, que sempre serão lembradas por mim com o maior carinho.

Ao mestre **Prof. Masato Nobuyasu**, pelo seu exemplo e incentivo que sempre dedicou à todos que os rodeiam. Sua honestidade e esforço pela Ortodontia sempre serão um guia para mim. Obrigado pela acolhida e pelo estímulo sempre.

À todos os colegas professores dos cursos de especialização em Ortodontia da UNOESTE e APCD de Ourinhos. Obrigado pelo apoio e amizade em todos esses anos de convivência.

Um agradecimento especial à MORELLI ORTODONTIA, nas pessoas do Srs. **Oraci, Roger, Damian, William, Manoel**, pelo apoio e real interesse para a realização deste trabalho. Uma menção especial ao funcionário **Wilson**, pela sua inestimável ajuda durante a realização dos ensaios. Muito obrigado à todos e espero trabalharmos juntos novamente.

Um agradecimento especial aos representantes das empresas Ultradent, Ormco, Unitek e Rocky Mountain, nas pessoas de **Fabiano, Delfim, Emília e Nelson**. Obrigado pelo apoio, na doação de parte do material utilizado durante os testes.

Ao meu amigo, **Dr. Nildemar Rubens Mendes Filho**, diretor do Serviço de Odontologia do CECOM – UNICAMP, pelo seu apoio para que eu pudesse fazer este curso. Muito Obrigado.

Às minhas colaboradoras e eficientes auxiliares, **Juliana, Gisele, Ana Paula, Denise, Vera e Patrícia**. Obrigado. Conto sempre com vocês.

SUMÁRIO

RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3. PROPOSIÇÃO.....	30
4. MATERIAL E MÉTODO.....	32
4.1 Material utilizado.....	33
4.2 Método	36
4.3 Análise estatística	41
5. RESULTADOS.....	42
6. DISCUSSÃO.....	49
6.1 Considerações sobre a metodologia empregada	51
6.2 Avaliação dos resultados	53
6.2.1 Influência do tipo de bráquete sobre o atrito.....	53
6.2.1.1 Angulação de 0°.....	53
6.2.1.2 Angulação de primeira ordem em 3°	56
6.2.1.3 Angulação de segunda ordem em 3°	59

6.2.2 Influência da angulação nos diferentes tipos de fios e na secção transversal.....	62
6.2.2.1 Fio de aço.....	62
6.2.2.2 Fio de Ni-Ti.....	64
6.2.2.3 Fio de beta -titânio.....	66
6.3 Considerações clínicas.....	68
7. CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	82
APÊNDICE.....	89

PICCHIONI, MAURO DOS SANTOS. Análise comparativa dos níveis de atrito em bráquetes convencionais e autoligados. 93p. Dissertação (Mestrado em Odontologia). Faculdade de Odontologia, Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2007.

RESUMO

O atrito existente entre bráquetes e os fios ortodônticos é um fator importante a ser considerado quanto à eficiência do tratamento ortodôntico nas mecânicas de deslize. Em função disto, sempre se procurou maneiras de se diminuir os níveis de atrito durante a aplicação deste tipo de mecânica. Com o surgimento dos bráquetes autoligados, observou-se que uma das características principais destes dispositivos seria uma redução dos níveis de atrito entre os bráquetes e fios, e com isso poderia se obter um movimento de deslizamento eficiente com a aplicação de forças menores, quando comparado com o uso de bráquetes que tenham sistemas de amarração convencionais. O propósito deste trabalho foi comparar, por meio de ensaios laboratoriais, os níveis de atrito estático de um bráquete autoligado estético, de um bráquete autoligado metálico e dois tipos de bráquetes convencionais metálicos, com a utilização de fios ortodônticos de diferentes ligas, secção e diâmetros, para determinar quais bráquetes apresentam os menores coeficientes de atrito, em situações sem angulação, em angulações de primeira ordem e angulações de segunda ordem entre os diferentes fios e bráquetes. Os resultados demonstraram que os bráquetes autoligados apresentaram um atrito estático significativamente mais baixo nas situações onde não existiu angulação entre o fio e o bráquete e quando se utilizou fios de calibres menores e com material mais flexível, quando comparados com os bráquetes convencionais. O bráquete autoligado metálico apresentou maior atrito, semelhante aos bráquetes convencionais, com o uso dos fios de maior calibre, nas situações sem angulação. O bráquete autoligado metálico apresentou maior atrito estático que os bráquetes convencionais, nas situações de angulação, com o uso dos fios de maior calibre.

PICCHIONI, MAURO DOS SANTOS. Friction levels comparative analysis in self-ligated and conventional brackets. 93p. Dissertação (Mestrado em Odontologia). Faculdade de Odontologia, Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2007.

ABSTRACT

The friction between brackets and orthodontic wires is an important issue to be considered concerning to orthodontic treatment efficiency in the sliding mechanics. Because this, always there are a search for ways to reduce the friction levels during this type of mechanics. With the introduction of self-ligated bracketts, it was observed that one of these devices main characteristics would be a reduction levels reduction of friction between brackets and wires, and because this the movement could be more efficient, with the application of low forces when compared the using of brackets with conventional ligation systems. The purpose of this study is compare by means of laboratorial tests, the esthatic friction coefficients of one esthetic self-ligated bracket, one metallic self-ligated bracket and two metallic conventional brackets, with the orthodontic wires of different materials, section and sizes, to determine which brackets presents the lowest coefficients of friction, in situations of different angulations between wires and brackets. The results had demonstrated that self-ligated brackets had presented a static friction significantly lower at situations whitout angulation between the wire and brackets and when using small size wires, with more flexible material, when compared with conventional brackets. The metallic self-ligated bracket presented more friction, similar the conventional brackets, with the use larger diameter wires, without angulation between bracket and wire. The metallic self-ligated bracket presented higher static friction when compared with conventional brackets, with the use larger diameter wires, at situations with angulation between bracket and wire.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

A compreensão adequada dos fenômenos provocados pelo atrito entre o fio e o bráquete ortodôntico, durante os movimentos de deslizamento, é um desafio que todo ortodontista clínico já se deparou. Segundo vários autores o atrito nada mais é que a resistência ao movimento de um determinado objeto que se move tangencialmente quando em contato com outro objeto^{4,8,23,26,3730,31,46}.

Para o estudo do atrito pode-se utilizar a avaliação do coeficiente de atrito estático, que avalia a força necessária para se iniciar o movimento de um determinado objeto ou o coeficiente de atrito dinâmico, que avalia a força existente entre um determinado objeto em relação à uma superfície, em situações de movimento. O atrito estático sempre tem um valor maior que o atrito dinâmico devido à necessidade de romper as ligações moleculares entre as duas superfícies⁴⁸.

Em função desta resistência ao movimento, sabe-se que a força que efetivamente será aplicada aos dentes durante o tratamento deverá superar o atrito e será dependente da habilidade do clínico, que deverá controlar as forças mecânicas que estimularão as respostas biológicas do periodonto^{12,14,20,33,34}. Diversos fatores podem afetar essa relação de atrito, tais como: o material e a largura do bráquete, a distância inter-bráquetes, o tamanho da canaleta, o tipo de fio, as angulações de primeira e segunda ordem, o grau de torção, o tipo de amarração, se o ambiente é seco ou úmido, dentre outros^{7,10,11,20,23,34,45,46}. Avaliações corretas destes fatores são necessárias para que a força aplicada durante o tratamento ortodôntico possa sobrepujar de forma ideal o atrito existente entre as superfícies dos fios e os bráquetes utilizados³², sem a utilização de forças excessivas, o que poderia comprometer o resultado de tais tratamentos.

Com o surgimento de novos tipos de bráquetes e sistemas de ligação, principalmente os sistemas de bráquetes autoligados, um grande número de trabalhos demonstrou que o atrito entre o fio e estes bráquetes pode ser

minimizado^{5,6,15,16,32,36,38,41,47}. Em função disto, alguns autores afirmam ser possível obter um alinhamento e nivelamento dentário mais eficiente, porque os dentes deslizariam pelo trajeto de menor resistência com pouco ou até sem atrito entre o bráquete e o fio^{6,9}. Afirmaram também que esses novos sistemas são capazes de aumentar os intervalos entre as consultas, reduzir o tempo total de tratamento^{6,9} diminuir o tempo de amarração^{6,16,36,47} e melhorar o controle de infecção^{6,36}. Verificaram ainda que os fatores negativos, como reabsorções dentárias, perdas ósseas e comprometimentos da ancoragem, associados a níveis de forças elevados, poderiam também ser minimizados^{16,46,47}. Porém, em trabalho recente, com avaliação clínica do desempenho durante a fase de alinhamento e nivelamento de bráquetes autoligados, não ficou demonstrado o melhor desempenho destes dispositivos²⁹.

É necessário ressaltar que nem todo atrito é prejudicial ao tratamento ortodôntico. Sem a existência do atrito, determinados movimentos, como a correção de dentes rotacionados, preparação de unidades de ancoragem ou a verticalização de dentes inclinados não poderiam ser efetuados⁴⁴. Mesmo nas mecânicas de deslize, o contato do fio com o bráquete é necessário para se assegurar um movimento de translação dentário.

O conhecimento dos mecanismos de atrito associado às combinações específicas de bráquetes e fios permitem que o clínico possa fazer os ajustes necessários no aparelho e na sua sistemática de tratamento visando alcançar movimentos dentários específicos e precisos²⁵. O grande desafio do entendimento desta área é a combinação dos conhecimentos de Física, de Biomecânica e de Biologia, de uma maneira que possam ser aplicados ao nosso dia-a-dia clínico.

As divergências existentes entre o desempenho decorrente dos níveis de atrito dos bráquetes convencionais e autoligados com os diversos tipos de fios ortodônticos e a escassez de trabalhos avaliando o desempenho dos bráquetes autoligados estéticos motivaram este estudo, idealizado para verificar qual sistema de bráquetes e combinação de fios propiciam os menores índices de atrito, auxiliando o ortodontista na seleção dos materiais a serem empregados nos tratamentos ortodônticos propostos.

Revisão da Literatura

2. REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com BERGER⁶, no artigo de revisão publicado em 2000, o primeiro sistema de bráquetes autoligados, ou seja, bráquetes ortodônticos que possuem uma face vestibular que pode ser aberta ou fechada, sendo que esta face de fechamento mantém o fio dentro da canaleta e elimina a necessidade de amarrações metálicas ou elásticas¹⁶, foi descrito por STOLZENBERG (apud BERGER⁶) em 1935, nos Estados Unidos. Foi batizado de bráquete *Russel* e consistia de um dispositivo fabricado com uma rosca interna e o sistema de fixação do fio era um parafuso achatado, que se encaixava nesta rosca. Um novo tipo de sistema de autoligação só surgiu em 1971, com o desenvolvimento do bráquete *Edgeloek* (*Ormco/ A Company*) proposto por WILDMAN (apud BERGER⁶), nos Estados Unidos. Era um bráquete com formato arredondado, com uma tampa deslizante, aberta por um instrumento especial. Quando esta tampa se fechava, o bráquete se transformava em um tubo passivo. Por isso, o bráquete *Edgeloek* foi considerado o primeiro sistema autoligado passivo e também o primeiro a apresentar um certo sucesso comercial. Em 1973, SANDER (apud BERGER⁶), na Alemanha, introduziu o bráquete *Mobillock* (*Forestadent*), que também era um sistema autoligado passivo.

Em 1980, HANSON (apud BERGER⁶), no Canadá, apresentou um novo tipo de bráquete *edgewise*, batizado com o nome *SPEED* (*Strite Industries*) tendo como característica principal a presença de um tipo de ferrolho ou *clip*, que eliminaria a necessidade de outros tipos de material de amarração, ou seja, um sistema de bráquetes autoligados. A mola e a geometria da canaleta foram projetadas para reduzir o atrito durante o deslizamento e para melhorar o controle tridimensional do

movimento dentário. Este sistema de fechamento, com uma presilha flexível, que comprime o fio contra o fundo da canaleta, foi batizado de bráquete autoligado ativo⁶.

Em 1986, nos Estados Unidos, surgiu o bráquete *Activa* (Ormco/ A Company) proposto por PLETCHER (apud BERGER⁶). Este sistema possuía uma tampa semicircular, que abria ou fechava a canaleta do bráquete apenas por pressão digital. Também se tratava de um sistema passivo, porém a facilidade de abertura da tampa pelo paciente e sua grande largura, levaram ao seu abandono rapidamente. Em 1995, HEISER (apud BERGER⁶), na Áustria, projetou o sistema *Time* (Adenta/ American Orthodontics), similar em aparência ao sistema *SPEED*, porém com uma tampa rígida, que previne qualquer interação substancial entre o fio e o bráquete, fazendo com que o sistema seja considerado passivo. No ano de 1998, WLDMAN (apud BERGER⁶), nos Estados Unidos propôs o bráquete *Twinlock* (Ormco/ A Company), que era um sistema autoligado passivo com tampa deslizante. Em 1996, DAMON (apud BERGER⁶), também nos Estados Unidos, propôs um sistema autoligado passivo, com tampa deslizante chamado de *Damon SL I* (Ormco/A Company) e em 1999 foi introduzido o sistema *Damon SL II* (Ormco/ A Company).

A partir do surgimento desses novos tipos de bráquetes, vários trabalhos para avaliação de atrito (ou fricção) com a utilização destes sistemas começaram a ser propostos. Em 1980, FRANK; NIKOLAÍ¹¹ pesquisaram, em um estudo laboratorial, simulando a retração de caninos, o nível de atrito de bráquetes tipo convencionais estreito, médio e largo e dos tipos *Begg* e *Lewis* e de um sistema autoligado passivo, o *Edgeloock* com diversos tipos de fios, em várias angulações e padronização nas forças de amarração. Os resultados demonstraram que em pequenas angulações e pouco movimento de oscilação do bráquete, a largura do bráquete e a força do tipo de amarração demonstraram ser os fatores principais na geração de atrito nos sistemas. Quando a angulação do bráquete aumenta, ocorre um contato angular entre o arco e a parede do bráquete, provocando um fenômeno denominado *binding*, que pode ser traduzido como apreensão entre o fio e o bráquete, o qual se transforma no fator preponderante na geração do atrito. Os autores verificaram que os bráquetes com o menor índice de atrito são os do tipo *Begg* e o autoligado *Edgeloock*.

Procurando comparar o atrito do bráquete tipo Lewis, que é um sistema convencional de aleta única, com o uso de ligas de aço inoxidável, de níquel-titânio e beta-titânio, de calibres 0.016" x 0.022" e 0.017" x 0.025", GARNER; ALLAI; MOORE¹², em 1986, efetuaram um estudo laboratorial. Foi utilizado um mecanismo de célula de carga e os dispositivos de teste foram mergulhados em saliva artificial, para melhor simular o ambiente bucal. Os fios de aço de menor diâmetro demonstraram um coeficiente de atrito menor, quando comparados com fios de níquel-titânio e beta-titânio. Os fios beta-titânio de maior diâmetro foram os que demonstraram o maior coeficiente de atrito.

Para medir a resistência friccional de um sistema de quatro bráquetes convencionais (Dentaurum), TIDY⁴⁵, em 1989, em um experimento laboratorial, simulou o movimento de corpo de um dente, ao longo de um arco contínuo. Neste trabalho, o autor declarou que, pelas leis clássicas do atrito, as forças friccionais são proporcionais às forças agindo nos pontos de contato, são independentes da área de contato e são independentes da velocidade de deslizamento. Foram estudados os efeitos da carga, largura do bráquete, tamanho da canaleta, tamanho do fio e material. O resultado encontrado demonstrou que o atrito é diretamente proporcional à carga aplicada e inversamente proporcional à largura do bráquete, ou seja, quanto maior a carga, maior o atrito, e quanto mais largo o bráquete, menor é o atrito. Segundo o autor, a profundidade da canaleta e o diâmetro do fio têm pouca influência. Também foi demonstrado que os fios de Ni-Ti e Beta-titânio têm um coeficiente de atrito maior, e que o fio de aço tem uma perda de 40% da força aplicada, devido ao atrito.

Avaliando os efeitos da velocidade nos coeficientes de atrito, num modelo de sistema ortodôntico, KUSY; WHITLEY²², em 1989, conduziram um estudo laboratorial. Os autores argumentaram que o estudo seria necessário porque o movimento dentário real é de aproximadamente 1mm ao mês, ou seja, uma taxa de $2,3 \times 10^{-5}$ mm por minuto, o que contrasta com a velocidade usual dos testes laboratoriais, que trabalham com velocidades bem maiores. Para o estudo, foram utilizados quatro tipos de fios, sendo um fio de aço inoxidável 0.018 "x 0.025" (Unitek), um fio de cromo-cobalto 0.018 "x 0.025" (Rocky Mountain), um fio de Ni-Ti 0.018 "x 0.025" (Unitek) e um fio beta-titânio 0.017 "x 0.025" (Ormco). Estes fios foram testados em

contato com duas barras de aço inoxidável polido, de acordo com padrões de estudos metalográficos. Os testes foram efetuados com as velocidades de 10; 1; 0,1; 5×10^{-2} ; 5×10^{-3} e 5×10^{-4} mm por minuto. Os resultados demonstraram que os coeficientes de atrito não variaram com a velocidade nos fios de aço inoxidável e Ni-Ti. O fio beta-titânio apresentou um nível de atrito consistentemente menor, nas velocidades menores e o fio de cromo-cobalto teve um leve aumento de seus níveis de atrito nas velocidades menores.

No trabalho publicado em 1989, DRESCHER; BOURAUUEL; SCHUMACHER¹⁰, ao estudarem os fatores relacionados ao atrito, em tratamentos com mecânicas de deslizamento, relataram os seguintes fatores, que afetam este tipo de mecânica, em ordem de importância: retardo de força ou resistência biológica, rugosidade da superfície do fio, tamanho do fio na sua dimensão vertical, largura do bráquete e propriedades elásticas do fio. No trabalho, foi utilizado um dispositivo que simulava as rotações dentárias de maneira tridimensional e avaliados fios de aço inoxidável (Unitek), aço inoxidável Hi-T (Unitek), Elgiloy azul (Rocky Mountain), Ni-Ti (Unitek) e beta-titânio (Ormco), nas medidas 0.016", 0.018", 0.016"x 0.022", 0.017"x 0.025 e 0.018"x 0.025" em relação a bráquetes com larguras de 2,2; 3,3 e 4,2mm. Os autores observaram que o atrito aumentava com o aumento do calibre e nos formatos retangulares, o fio de beta-titânio gerou os maiores índices de atrito e o aço mais rígido (Hi-T) gerou os menores índices.

Buscando comparar o nível de força requerido para mover quatro diferentes tipos de arcos de aço inoxidável, nos calibres 0.016", 0,017", 0.018" e 0.016"x 0.022" em uma mesma distância, em seis ocasiões, comparando quatro sistemas de bráquetes convencionais (American Orthodontics e A-Company), amarrados com ligaduras elásticas e de metal e o sistema autoligado SPEED (Strite Industries), BERGER⁵, em 1990, executou um estudo "in vitro". O trabalho não testou diferenças de inclinação nos bráquetes ou fios. Os resultados demonstraram uma significativa diminuição do nível de força requerido para o sistema SPEED com os quatro tipos de arcos utilizados no experimento, quando comparados com os bráquetes convencionais, amarrados com ligaduras elásticas ou de metal.

Segundo KAPILA²⁰ et al., em 1990, muitas variáveis afetam os níveis de atrito entre fios e bráquetes. Essas variáveis podem ser de ordem mecânica ou biológica. As mecânicas incluem o material do bráquete, tamanho da canaleta, largura e angulação do bráquete, composição, formato e largura dos fios, tipo e pressão de ligação da amarração. Saliva, placa, película adquirida e corrosão podem ser considerados os fatores biológicos. Para fazer essas afirmações, os autores efetuaram uma investigação laboratorial, onde foram avaliados fios de aço inoxidável(Ormco), cromo-cobalto (Rocky Mountain), NiTi (Unitek) e beta-titânio (Ormco) em relação a bráquetes metálicos (Ormco) com larguras de 0,050", 0,130" e 0,180", que possuíam canaletas de 0.018" e 0.022" de largura. Fios nos calibres 0.016", 0.016" x 0.016", 0.016"x 0.022", 0.017" x 0.017" e 0.017"x 0.025" foram testados nos bráquetes com canaleta 0.018" e 0.022". Os fios nos calibres 0.018", 0.018" x 0.025", 0.019"x 0.025" foram testados apenas nos bráquetes com canaleta 0.022". Os autores afirmaram que existe uma perda de eficiência do movimento devido ao atrito entre o fio e o bráquete, e que se deve buscar um nível de força ideal segundo cada tipo de aparelho e de arcos que estiverem sendo usados.

Em 1991, BEDNAR; GRUENDEMAN; SANDRIK⁴ executaram um estudo laboratorial para simular uma retração de canino e avaliar a diferença da resistência friccional entre arcos de aço inoxidável e bráquetes de aço (Ormco) e de cerâmica (GAC), com amarrações elásticas e amarrações metálicas de aço e entre os bráquetes autoligados SPEED(Strite Industries). Um aparelho de teste foi projetado para simular a situação clínica em que os dentes inclinam levemente enquanto são deslizados ao longo do arco. Sob essas condições de teste, os bráquetes autoligados não demonstraram menor resistência à fricção do que os bráquetes metálicos com amarração metálica ou plástica. Para a maioria dos diâmetros de fios, os bráquetes cerâmicos ligados com elásticos demonstraram a maior fricção.

Em estudo laboratorial, SIMS et al.³⁸, em 1993, compararam as forças necessárias para o movimento *in vitro* de bráquetes autoligados e convencionais. Foram utilizados os bráquetes autoligados SPEED(Strite Industries) e Activa(Ormco), comparando-os com os bráquetes Minitwin (UNITEK), amarrados com ligaduras elásticas na forma convencional e amarradas em "forma de

oito". Os testes demonstraram uma redução da resistência friccional do bráquete *Activa*, quando comparado com o *SPEED*, num fator de 15 vezes. O bráquete *SPEED* apresentou uma redução do atrito de 50 a 70% em relação ao bráquete convencional amarrado de forma regular. O sistema de amarração em "forma de oito" apresentou uma resistência friccional de 70 a 220% maior, quando comparado com a amarração regular.

Também em 1993, BEDNAR; GRUENDEMAN³ fizeram um estudo laboratorial que simulou um modelo ortodôntico, para avaliar o efeito da largura do bráquete e da técnica de ligação, na produção de momentos em bráquetes convencionais e autoligados, durante a rotação axial. Foram usados bráquetes de aço modelos *Mini Diamond* e *Diamond* (*Ormco*) e *Atract* ("*A*" *Company*) amarrados com ligadura elástica e ligadura metálica, além de bráquetes autoligados metálicos *SPEED* (*Strite Industries*). Segundo os autores, tanto a largura do bráquete quanto o método de ligação afetam significativamente o momento produzido durante a rotação axial. Para a escala de largura de bráquetes e tipos avaliados, a técnica de ligação mostrou ter uma maior influencia na produção de momento do que a largura do bráquete. O bráquete auto-ligado apresentou os menores índices de atrito entre todos os bráquetes avaliados.

Buscando quantificar a força de atrito dinâmica de deslizamento de diferentes tipos de bráquetes e fios ortodônticos, TSELEPIS; BROCKHURST; WEST⁴⁶, em 1994, efetuaram um estudo com máquina universal de testes, avaliando quatro tipos de bráquetes convencionais: de aço inoxidável (*Unitek*), de policarbonato (*American Orthodontics*), de porcelana (*Tomy International*) e safira (*A-Company*). Foram avaliados os fios de aço inoxidável, cromo-cobalto, Ni-Ti e beta-titânio no calibre 0.016" x 0.022". Os autores definiram o atrito estático, que é a resistência ao movimento inicial e o atrito dinâmico, que consiste no atrito das superfícies de contato que estão se movimentando. Foram analisados os seguintes fatores: material do fio, material dos bráquetes, angulação entre arco e bráquete, além da lubrificação (saliva artificial). Os resultados mostraram que todos os fatores investigados influenciaram de forma significativa no atrito. As forças observadas no experimento sugeriram que o atrito pode ter uma influência significativa na eficiência do

movimento dentário a ser obtido durante as mecânicas de deslizamento. Dessa forma, a seleção de bráquetes e arcos constitui um aspecto de fundamental importância, quando a ancoragem posterior é crítica. Na comparação dos resultados, o maior índice de atrito foi encontrado entre o bráquete de policarbonato, na angulação de 10° com fio de aço, em ambiente seco e o menor índice foi encontrado com o uso do bráquete metálico, sem angulação com fio de aço³⁸ em ambiente úmido.

SIMS; WATERS; BIRNIE, em 1994, compararam a fricção de dois tipos de bráquetes convencionais MiniTwin(Unitek) e Standard Straight Wire(A Company) com o bráquete autoligado Activa(Ormco), quando se aplicavam valores pré-estabelecidos de torque e inclinação, em um fio de 0.018" x 0.025" de aço inoxidável. A resistência ao deslizamento foi medida numa máquina de testes tipo Instron. Os resultados demonstraram que o bráquete autoligado Activa produziu menor resistência à fricção do que os bráquetes convencionais. O aumento no torque e na inclinação produziu um aumento linear de resistência à fricção em todos os bráquetes, embora o aumento de inclinação tenha produzido um efeito mais profundo, particularmente nos bráquetes Activa, provavelmente devido à sua maior largura.

Também em 1994, SHIJAPUJA; BERGER³⁶ fizeram um estudo comparativo *in vitro* e uma investigação clínica para comparar dois tipos de bráquetes convencionais, um metálico e um cerâmico e três tipos de bráquetes autoligados: SPEED (Strite Industries), Edgelock(Ormco) e Activa (A - Company). Os resultados do estudo *in vitro* demonstraram que os bráquetes autoligados, apresentaram uma significativa redução do nível de resistência friccional quando comparados com os bráquetes convencionais. No estudo clínico ficou demonstrado que os bráquetes autoligados proporcionaram uma redução do tempo de cadeira para remoção e inserção dos arcos e uma melhora no controle de infecção bucal, quando comparados com os bráquetes convencionais de metal e porcelana, utilizados com ligaduras de aço ou de plástico.

Em 1996, HARRADINE; BIRNIE¹⁶ discutiram, em artigo de revisão, as vantagens e desvantagens dos bráquetes autoligados Activa("A" Company). A principal vantagem clínica do sistema surge de uma combinação de fricção baixa e um controle excelente do encaixe do arco. Os maiores benefícios seriam um rápido

alinhamento de dentes muito irregulares, menores implicações sobre a ancoragem e maior facilidade nas mecânicas de deslizamento. Muitos problemas surgiram da pouca familiaridade com um bráquete sem aletas de amarração, sendo que o mais significativo foi uma taxa de falha de colagem mais alta quando comparado com bráquetes convencionais do mesmo fabricante, provavelmente devido a pouca familiaridade dos operadores com o novo tipo de bráquete na hora da colagem e porque a base desses bráquetes é menor que os convencionais.

Em um trabalho *in vitro* utilizando microscopia eletrônica de varredura, e também em uma investigação clínica de 83 pacientes, VOUDOURIS⁴⁷, em 1997, comparou a resistência ao atrito dos bráquetes autoligados Sigma (American Orthodontics), Interactwin (Ormco) e Damon (Ormco, mas de propriedade da "A" Company na época da pesquisa) com três tipos de bráquetes convencionais correspondentes de cada uma das empresas anteriormente citadas. O autor explicou o modo de atuação deste tipo de bráquete e comparou as vantagens dos sistemas autoligados com os bráquetes convencionais. Afirmou que esses três tipos de bráquetes autoligados produzem um bom controle na correção de rotações e permitem o uso de forças mais leves, devido à redução do atrito, que ajuda a preservar a ancoragem. Na avaliação da fricção, o autor diferenciou a ação do bráquete Sigma, afirmando que este possui uma interação ativa com o fio, enquanto os bráquetes Interactwin e Damon têm um comportamento de interação passiva com o fio. O autor também afirmou ter ocorrido um tempo de atendimento menor com o uso de sistemas autoligados e uma melhora na higiene, devido a uma menor retenção de placa, pela ausência de sistemas de amarração.

Também em 1997, READ-WARD; JONES; DAVIES³² compararam, *in vitro*, a resistência friccional estática de três tipos de sistemas de bráquetes autoligados e um sistema de bráquetes convencionais. Foram avaliados os efeitos de três tamanhos de arcos (0,020", 0,019" x 0,025" e 0,021" x 0,025"), três relações de angulação de arco e bráquete (0°, 5° e 10°) e a presença de saliva humana não estimulada. O estudo demonstrou que tanto o aumento do calibre do fio como o aumento da angulação resultou em um aumento na resistência friccional estática para todos os bráquetes testados. A presença da saliva produziu efeitos inconsistentes. Para

os testes feitos com angulação zero, os sistemas autoligados demonstraram uma redução significativa no atrito, quando comparados com os bráquetes convencionais, no fio de calibre 0,020", entretanto quando foram utilizados os fios de calibre 0.019" x 0.025" e 0.021" x 0.025", que são os mais utilizados nas mecânicas de deslizamento com fechamento de espaços, as diferenças foram menos significantes, ou seja, os bráquetes autoligados mostraram uma resistência menor ao atrito somente nas situações onde não havia angulação entre o fio e o bráquete.

No mesmo ano, BAZAKIDOU² et al., avaliaram os níveis de atrito em diversos tipos de bráquetes convencionais estéticos, de cerâmica policristalina, cerâmica monocristalina, de policarbonato simples e de policarbonato com canaletas de metal em relação aos bráquetes convencionais metálicos. Os resultados do teste demonstraram que os bráquetes de policarbonato simples, ou seja, sem canaleta metálica, apresentaram os menores índices de atrito, em relação aos bráquetes de cerâmica com canaleta de metal, independente do tamanho do fio, tipo de liga e tipo de amarração. O tipo de liga que apresentou o menor atrito foi o aço, seguido pela liga de beta-titânio e por último a liga de Ni-Ti.

Procurando discutir os conceitos básicos associados aos fenômenos do atrito relacionado ao tratamento ortodôntico, KUSY; WHITLEY²³, em 1997, relataram em um artigo de revisão uma série afirmações, definições e conceitos. Definiram que o atrito clássico, determinado apenas pelo contato entre as superfícies do fio e do bráquete, é a influência principal no deslizamento em ângulos e torques baixos, e que a melhor maneira de se controlar o atrito seria maximizar a eficiência, que seria a força realmente disponibilizada ao dente em relação à força aplicada e à reprodutibilidade, que se refere à habilidade do clínico em ativar um fio de forma que o conjunto fio-bráquete reaja de maneira previsível, sempre que uma certa força for aplicada em um determinado dente. Os autores também apresentaram as definições das três leis clássicas da Física do atrito e sua relação com a Ortodontia. A primeira lei, segundo os autores, afirma que a força friccional é proporcional à força aplicada seguindo uma constante, que é chamada de coeficiente de fricção e todos os sistemas de Ortodontia seguem essa lei, sem exceção. A segunda lei afirma que o coeficiente de atrito é independente da área de contato aparente e também é aplicável em Ortodontia. A

terceira lei afirma que o coeficiente de fricção é independente da velocidade de deslizamento e os autores afirmam que esta lei não é totalmente obedecida em ciência de materiais e na Ortodontia, já que diversos fios podem ter coeficientes de atrito diferenciados quando se alteram as velocidades dos testes. Também foram feitas as definições de atrito estático, que é a força máxima a ser aplicada em determinado objeto para que ele inicie o movimento e o atrito dinâmico, que seria a força necessária para se manter o mesmo objeto em movimento. Os autores discutiram as dificuldades em relação aos métodos de medição, alegando que existe uma falta de reprodutibilidade entre os vários investigadores, já que as forças de ligação não são a única variável e muitas vezes nem são relatadas. Também discutiram que os testes repetidos, onde um conjunto de fios e bráquetes são testados, podem mostrar resultados diferentes, demonstrando que pequenas variações na fabricação ou no teste podem afetar os resultados. Além disso, foram também discutidos os parâmetros de importância em relação ao entendimento do atrito no que se refere ao material, aspereza, dureza, rigidez do fio, geometria, meios fluídos e superfície química. Finalmente os autores discutiram a relação entre os diversos fatores, como uso de materiais de diferentes durezas no conjunto bráquete-fio, onde um material de bráquete muito duro pode provocar um entalhe no fio, fenômeno denominado *notching*, que pode impedir o deslizamento e o fenômeno denominado *binding*, que seria uma situação de angulação ou torque entre o fio e o bráquete, que eliminaria a folga existente entre esse conjunto, aumentando assim a compressão existente entre o fio e o bráquete e, conseqüentemente, provocaria um aumento do atrito.

Em 1998, PIZZONI; RAVNHOLT; MELSEN³¹ compararam o atrito de quatro tipos de bráquetes, sendo dois autoligados: SPEED (Speed System) e Damon SL (Ormco) e dois convencionais (Dentaurum e A-Company), utilizando fios de beta-titânio e aço inoxidável, nas configurações redonda e retangular. Os bráquetes foram testados em uma máquina de testes, numa velocidade de 10 mm por minuto. Os resultados demonstraram que os fios redondos produzem menos atrito que os fios retangulares e que os fios de beta-titânio têm uma fricção acentuadamente maior do que os fios de aço. Também foi demonstrado que o aumento de angulação produz um aumento da fricção. Os bráquetes autoligados tiveram uma fricção menor que os

convencionais. O sistema de fechamento do bráquete autoligado também influencia, sendo que o bráquete com sistema de fechamento passivo exibe um menor atrito, quando comparado com o sistema de fechamento ativo.

Para comparar as características friccionais de dois tipos de bráquetes convencionais e dois tipos de bráquetes autoligados, THOMAS; BIRNIE; SHERRIFF⁴¹, no mesmo ano, efetuaram um estudo *in vitro*. Foram utilizados os bráquetes autoligados Damon SL ("A" Company) e Time (Adenta) e os convencionais Tip-Edge (TP Orthodontics) e Standard Twin ("A" Company). Foram utilizadas cinco combinações de fios e materiais: Níquel-Titânio 0.014" e 0.016" x 0.022" , aço inoxidável trançado 0.0175", aço inoxidável 0.016" x 0.022" e 0.019" x 0.025". Os resultados demonstraram que o bráquete Damon apresentou a menor fricção para todos os tipos de fios testados e o bráquete convencional da "A" Company produziu os mais altos índices de fricção para todos os tipos de fios testados.

Também em 1998, DAMON⁹ descreveu um relato da forma de ação do aparelho Damon SL. O autor afirmou que o desenho do bráquete autoligado permite um nivelamento mais rápido, porque os dentes podem "flutuar ao longo de um trajeto de menor resistência, com pouca ou nenhuma fricção entre o bráquete e o fio." O autor também afirmou que o mecanismo de fechamento elimina muito do atrito criado pela amarração convencional metálica ou de látex, que são utilizadas para manter o arco no encaixe do bráquete. Devido a esse mecanismo de fechamento e à diminuição do atrito, a mecânica de deslize pode ser feita de forma mais eficaz. Em função das características atribuídas ao sistema, o autor declarou ser possível aumentar o intervalo entre as consultas e reduzir o tempo total de tratamento.

Procurando avaliar os efeitos do deslocamento repetitivo de um bráquete sobre o atrito, durante os movimentos de deslizamento, O'REILLY³⁰ et al., em 1999, conduziram uma investigação *ex vivo*. No experimento, foi montado um dispositivo que permitia um deslocamento repetitivo de um bráquete, enquanto ocorria o deslizamento do fio. As medições foram feitas numa máquina Instron. Foram testados bráquetes convencionais metálicos (Ormco) em conjunto com fios de aço inoxidável 0.016", 0.019" x 0.025" e 0.021" x 0.025" e beta-titânio 0.019" x 0.025". Os deslocamentos foram avaliados de 0 às magnitudes de 0,25, 0,5 até 1 mm. Os autores concluíram que o

deslocamento repetitivo tinha um significativo efeito na resistência ao deslizamento da interface entre fio e bráquete. A redução da resistência ao deslizamento observada variou dependendo do fio. Em relação à escala de deslocamentos testada, houve uma redução de 85% na resistência ao deslizamento no fio 0.021" x 0.025" de aço inoxidável, para 80% no fio 0.019" x 0.025" de aço inoxidável, para 27% no fio 0.019" x 0.025" beta-titânio e 19% para o fio 0.016" de aço. Em função desses resultados, os autores afirmaram que a influência do atrito, em condições reais, onde ocorre um deslocamento do fio ou do bráquete, normalmente associado ao ciclo mastigatório, pode ser menor e ter uma importância clínica menor do que foi expresso anteriormente.

Procurando esclarecer a influência da angulação na resistência ao deslizamento nos aparelhos fixos, ARTICOLO; KUSY¹, em 1999, efetuaram uma avaliação *in vitro*. Foram avaliadas as resistências ao deslizamento em relação às angulações de 0°, 3°, 7°, 11° e 13°. Foram utilizados bráquetes convencionais metálicos do tipo Mini Uni-Twin (Unitek), de cerâmica policristalina, tipo Transcend (Unitek) e cerâmica monocristalina, tipo Starfire (A-Company) e fios de calibre 0.021" x 0.025" de aço inoxidável, de Ni-Ti e beta-titânio. Quando os conjuntos de bráquetes e fios estavam em uma configuração passiva, em baixas angulações, os conjuntos de bráquetes e fios de aço apresentaram a menor resistência ao deslizamento. Quando a angulação excedeu o ângulo de 3°, ocorreu uma configuração ativa e o fenômeno dito *binding* rapidamente prevaleceu e a resistência ao deslizamento aumentou em até 100 vezes. Sob estas condições, o desempenho entre os materiais se alterou e os conjuntos formados por fios e bráquetes de aço passaram a apresentar os maiores índices de resistência ao deslizamento enquanto que os conjuntos com os fios de Ni-Ti passaram a apresentar os menores índices. Os autores sugeriram que a configuração ativa e o subsequente *binding* aparecem quando não existe mais folga entre o fio e o bráquete.

No mesmo ano, BRAUN² et al. avaliaram as forças de fricção, em teste laboratorial, simulando as condições do ambiente bucal. Os autores afirmaram que a maioria dos estudos de avaliação de resistência friccional foram executados em condições estáticas e que, no ambiente bucal, as funções como mastigação, deglutição, fala, etc., bem como o contato dos tecidos bucais com os aparelhos

ortodônticos, resultam em movimentos periódicos e repetitivos, que afetam o contato do fio com o bráquete. Esses pequenos movimentos reduziram o atrito. No estudo, foram utilizados bráquetes convencionais metálicos tipo Mini Diamond (Ormco), tipicamente usados nas mecânicas de deslizamento. O teste, executado em uma máquina de teste Instron procurou simular os movimentos que ocorrem dentro do ambiente bucal. Foram utilizados bráquetes com canaleta de 0.018" e fios de aço inoxidável de 0.016", 0.016 "x 0.016" e 0.018 "x 0.025". Os testes foram executados com os bráquetes posicionados com uma inclinação que variou de 0° a 25,5°. Enquanto a máquina de testes provocava o deslizamento dos fios, um mesmo operador aplicava perturbações ou pequenos toques sobre o fio ou o bráquete, de uma maneira aleatória, com uma força média de 87,2 gramas. Ficou demonstrado que a resistência friccional, na maioria todos os testes, reduziu praticamente a zero. Os autores levantam a hipótese que a vibração provoca um afrouxamento da ligação entre o bráquete e o fio, fazendo com que o atrito praticamente seja eliminado. Também afirmaram que fatores como o grau de inclinação dentária, folga entre fio e canaleta, bem como métodos de amarração não tiveram efeito mensurável na resistência friccional, nesta simulação dinâmica do ambiente bucal.

Também em 1999, LOFTUS²⁶ et al. mediram as forças friccionais durante o movimento de deslizamento, utilizando um dispositivo que simula as condições clínicas. Esse dispositivo permite a inclinação e rotação do bráquete enquanto o fio é deslizado, fazendo com que o arco entre em contato com os cantos e fundo da canaleta do bráquete, bem como com as amarrações e tampa metálica, no caso do bráquete autoligado. Foram comparados um bráquete de metal convencional, Victory (UNITEK), um autoligado metálico, Damon SL ("A" Company) um de porcelana Transcend (UNITEK) e um bráquete de porcelana com canaleta metálica Clarity (UNITEK). Foram utilizados fios 0.019 "x 0.025" de aço inoxidável, Ni-Ti e beta-titânio. A comparação da diferença de fricção entre os bráquetes metálicos convencionais e de cerâmica com canaleta metálica não foi significativa, porém os bráquetes de cerâmica pura apresentaram níveis de fricção mais altos. Os fios Beta-titânio produziram mais fricção do que os fios de níquel-titânio e não foram encontradas diferenças com os fios de aço.

Procurando avaliar as influências do arco e da dimensão do bráquete nas mecânicas de deslizamento, KUSY; WHITLEY²⁴, em 1999, demonstraram os ângulos críticos de contato entre o fio e o bráquete que ocasionam o fenômeno *binding*. Também relataram o fenômeno denominado *notching* (entalhe) que é causado pelo contato dos cantos do bráquete no arco. Esses dois fenômenos, que ocorrem sempre que existir um ângulo crítico entre o fio e o bráquete podem se tornar fatores preponderantes para a restrição do movimento dentário. No trabalho, os autores demonstraram por meio de equações, como a largura do bráquete se relaciona com sua canaleta e como o arco preenche a canaleta. Concluíram que o ângulo ideal entre fio e canaleta deveria se situar entre 0° e 4°, para que o movimento de deslizamento pudesse ocorrer da maneira mais eficiente possível.

No ano 2000, BERGER⁶ publicou uma revisão de literatura sobre os bráquetes autoligados, relatando um breve histórico e demonstrando os principais tipos de bráquetes autoligados utilizados até então. O autor relatou desde o aparecimento do primeiro sistema de bráquetes autoligados, desenvolvido em 1935 por Stolzenberg, até o aparecimento do bráquete Damon 2, em 1999. Também discutiu a diferença entre bráquetes autoligados ativos, que são aqueles que possuem seu dispositivo de fechamento flexível ou com ação de mola que pressionam o fio em direção ao fundo da canaleta e os passivos, que são bráquetes que possuem um dispositivo de fechamento rígido, transformando o bráquete num tubo, que não pressiona o fio em direção ao fundo da canaleta. Relatou as vantagens do uso dos bráquetes autoligados quando comparados com os bráquetes convencionais, como a redução do tempo de tratamento, maior conforto para o paciente, menor tempo de atendimento, controle mais preciso da translação dentária, uso de menores forças, baixo atrito e melhor controle de infecções.

Buscando demonstrar as tendências na biomecânica ortodôntica para os próximos anos, KUSY²⁵, em 2000, publicou um artigo de divulgação, onde discutiu o desenvolvimento dos estudos sobre os mecanismos de deslizamento ortodôntico convencional. Neste trabalho, o autor relatou alguns estudos que avaliaram o atrito entre arcos, bráquetes e ligaduras. A partir desses estudos, ficou estabelecido que as combinações de aço (bráquetes, arcos e ligaduras) são os que produzem menores

índices de atrito (padrão ouro). Também ficou claro que a saliva pode atuar tanto como lubrificante ou como adesivo para determinadas combinações de bráquete e fio. O autor discutiu também os conceitos de configuração passiva entre arco e bráquete (contato do arco com apenas um lado da canaleta do bráquete) e configuração ativa (contato do arco em lados opostos da canaleta do bráquete). Nesta situação de configuração ativa, o aço inoxidável se torna o pior material para se obter o deslizamento, devido à sua natureza rígida. Quando se tenta forçar o deslizamento nesses casos, as ligas metálicas duras se deformam e produzem *notches* ou entalhes no fio. Na prática clínica, os entalhes paralisam o deslizamento até que a mastigação, pressão da língua ou bochechas desloquem o fio para fora da depressão. Também foram discutidas algumas questões clínicas relevantes, como quanto de alinhamento e nivelamento é necessário antes de se iniciar as mecânicas de deslizamento, qual tipo de binário fio-bráquete é indicado no deslizamento e qual deve ser a folga entre o arco e o bráquete. Em resposta a essas perguntas, o autor declarou que a geometria entre o fio e o bráquete define um ângulo crítico para o deslizamento. Abaixo deste ângulo, o atrito ocorre de forma clássica, onde apenas uma força age contra o movimento. Nestes casos, o aço inoxidável é o melhor material a ser utilizado. Acima deste ângulo, o contato angular mais acentuado ou *binding* entre o arco e o bráquete aumenta a resistência ao deslizamento, até que o movimento cesse. Em suma, o autor afirmou que preencher a canaleta ao máximo proporciona um grande controle, mas provoca muito contato angular. Já, ao se preencher minimamente a canaleta, obtém-se pouco controle, porém com pouco contato angular, e conseqüentemente, menor dificuldade de deslize. Declarou ainda que evidências experimentais indicam que a combinação de um fio de 0.016" x 0.022" em um bráquete de 0.018" x 0.022" seria a melhor alternativa entre controle razoável e menor contato angular.

LOFTUS; ARTUN²⁷, em 2001, procuraram desenvolver um modelo para avaliar o atrito durante o movimento ortodôntico. Para isso, construíram um dispositivo que simulava um dente com diversas espessuras de ligamento periodontal. Foi utilizado um bráquete convencional de cerâmica, com canaleta 0.022" e um fio de aço 0.019" x 0.025", que deslizava pela canaleta à uma velocidade de 10 mm por minuto. Os dispositivos que simulavam a menor espessura de ligamento apresentaram os menores

índices de atrito. Os autores atribuíram este desempenho à ocorrência de uma menor inclinação dos dentes que possuíam esta condição.

Em 2001, THORSTENSON; KUSY⁴² compararam as propriedades friccionais dos bráquetes convencionais de aço inoxidável, Mini Diamond, (Ormco), ligados com amarrações de aço, em fios retangulares de aço inoxidável, no diâmetro 0.018" x 0.025" e dos bráquetes autoligados Damon SL (Ormco), com os mesmos tipos de arco. As análises foram feitas nas angulações de segunda ordem. Como forma de controle, foram medidas as propriedades friccionais do bráquete autoligado aberto, amarrados com amarrilhos convencionais. Foi medida a resistência ao deslizamento dos sistemas abertos com forças de amarração que variavam de 200 a 600 cN e com ângulos que variavam de -9° a 9°. Na configuração passiva, os bráquetes convencionais e o bráquete autoligado aberto e amarrado apresentaram uma resistência friccional semelhante, enquanto que o autoligado com sua tampa fechada, não apresentou fricção. Com o aumento da angulação, todos os bráquetes apresentaram um aumento de resistência ao deslizamento, porém os bráquetes autoligados apresentaram os menores índices.

THORSTENSON; KUSY⁴³, em 2002, investigaram a resistência ao deslizamento de três tipos de bráquetes autoligados com fechamento passivo: Activa (Ormco), Damon (Ormco) e Twinlock (Ormco) e três tipos com sistema de fechamento ativo: In-Ovation (GAC), SPEED (Strite industries) e Time (American Orthodontics). Foi utilizado um fio de aço inoxidável de diâmetro 0.018" x 0.025", em todos os bráquetes, movimentado a uma velocidade de 10mm/minuto, por uma distância de 2,5 mm. Para cada bráquete foram feitas 14 medições em angulações de segunda ordem, variando de -9° a +9°, em situações com presença e ausência de saliva natural humana, à temperatura de 34°. Foram determinados ângulos de atrito críticos para todos os bráquetes. Esses valores variaram de 3° a 5°. Abaixo desses valores críticos, os bráquetes com fechamento passivo apresentam um fator de atrito desprezível. Os bráquetes com fechamento ativo apresentam forças friccionais de cerca de 50 cN (50 g). Acima desses ângulos críticos, todos os bráquetes apresentaram um aumento da força de atrito, em função do aumento dos pontos de contato entre bráquete e fio, independentemente do sistema.

Também em 2002, THORSTENSON; KUSY⁴⁴ avaliaram a relação do material e das características geométricas de cinco tipos de fios e 4 tipos de bráquetes autoligados. Foram utilizados diversos tipos de fios, de diferentes fabricantes, sendo: Ni-Ti austenítico de 0.014" (Highland Metals), de diâmetro 0.016" x 0.022" (Orthonol, RMO) e de diâmetro 0.019" x 0.025" (Rematitan, Dentaaurum); um fio de Ni-Ti martensítico 0.019" x 0.025" (Nitinol Classic, Unitek) e um fio de aço inoxidável 0.019" x 0.025" (Forestadent). Foram utilizados três tipos de bráquetes com fechamento ativo: In-Ovation (GAC), SPEED (Strite industries) e Time (American Orthodontics) e um com fechamento passivo: Damon II (Ormco). A resistência ao deslizamento foi medida com ângulos de segunda ordem, que variavam de -9° a +9°. Quando havia folga entre o bráquete e o fio, a resistência ao deslizamento foi desprezível tanto no bráquete com fechamento passivo como nos de fechamento ativo, onde o fio contacta com o "clip" de fechamento. Quando a folga desapareceu e aumentou a angulação de segunda ordem, a resistência ao deslizamento aumentou nos dois tipos de bráquetes. Quanto mais rígido for o fio, maior é a resistência ao deslizamento, em relação ao aumento nas dobras de segunda ordem. Os autores afirmaram que a resistência ao deslizamento afeta todos os estágios do tratamento e que o clínico deve observar suas metas de tratamento antes da escolha do aparelho. Sugeriram que embora um valor baixo de resistência ao deslizamento seja desejado nas fases iniciais do tratamento, um valor de resistência alto seria mais desejável nas etapas finais do tratamento.

Na publicação de seu livro sobre Física, YOUNG⁴⁸, em 2003, definiu o que é atrito e demonstrou os princípios básicos do comportamento do atrito estático e cinético, bem como as fórmulas utilizadas para o cálculo dos coeficientes de atrito relacionados. O autor definiu atrito como a resistência de um determinado corpo se movimentar quando aplicada uma força paralela à superfície de apoio. Relatou também que o atrito é um fenômeno complexo, decorrente de interações inter-moleculares, fundamentalmente de natureza elétrica, entre duas superfícies rugosas, nos pontos onde elas se tocam. Na realidade, a área efetiva de contato é geralmente muito menor do que a área total da superfície. Em função disto, quando se desliza um corpo sobre outro, ligações microscópicas se formam e se rompem, e o número dessas ligações é

variável; portanto a força de atrito cinético não é constante. Segundo o autor, alisar as superfícies que manterão contato, através de polimento pode, na verdade, aumentar o atrito, já que mais moléculas se tornarão aptas a formar ligações, ou seja, juntar duas superfícies muito lisas de um mesmo metal pode produzir uma “solda a frio”. O texto esclareceu que o módulo de força do atrito estático é sempre maior que o atrito cinético, ou seja, a força necessária para se iniciar o movimento de um determinado objeto é sempre maior do que a força necessária para mantê-lo em movimento. Também ficou claro que em alguns casos, como no movimento de deslizamento em ortodontia, as superfícies podem alternadamente aderir (atrito estático) e deslizar (atrito cinético).

Revisando a situação atual dos sistemas de bráquetes autoligados, HARRADINE¹⁷, em 2003, discutiu os desenvolvimentos recentes, as vantagens clínicas e as possíveis imperfeições dos sistemas disponíveis. No artigo, o autor relatou as propriedades de um sistema de ligação ideal, que seriam: ser seguro e robusto; assegurar um encaixe completo do fio no bráquete, exibir um baixo atrito entre o bráquete e o fio; ser rápido e fácil de usar, permitir um atrito maior quando desejado, permitir uma ligação fácil de correntes elásticas, permitir uma boa higiene bucal e ser confortável ao paciente. O autor também discutiu as vantagens dos bráquetes autoligados, salientando principalmente o papel do baixo atrito, onde discutiu experimentos *in vitro* e avaliações *in vivo* do desempenho desses tipos de bráquetes e afirmou que, sob a ótica das evidências atuais e baseado na experiência clínica, os bráquetes autoligados proporcionam uma redução significativa do atrito em todas as dimensões do movimento dentário. Outras vantagens descritas para os bráquetes autoligados foram um menor comprometimento da ancoragem, o alinhamento mais fácil de dentes com irregularidades severas e um gasto de tempo menor para a troca de arcos. Foi também comparada a questão da ligação passiva e ativa, onde o autor afirmou que este não é um aspecto fundamental para a diferenciação dos bráquetes autoligados e disse que os bráquetes autoligados ativos permitem um alinhamento inicial mais completo, já que seu mecanismo de fechamento pressiona o fio contra a canaleta porém quando são utilizados fios mais grossos esta característica aumenta o atrito do sistema e reduz sua capacidade de produzir torque. Também foram sugeridas

orientações clínicas e mudanças nas mecânicas de tratamento foram sumarizadas e ilustradas.

Para estudar os valores das forças friccionais durante a mecânica de deslizamento com o uso de bráquetes de “atrito reduzido”, REDLICH et al.³³, em 2003, propuseram uma investigação *in vitro*. Foram utilizados cinco diferentes sistemas de bráquetes de “atrito reduzido”, a saber: Nu-Edge (TP Orthodontics); Discovery (Dentaurum); Synergy (Rocky Mountain); Friction Free (American Orthodontics) e TIME (American Orthodontics), este último um sistema autoligado. O bráquete convencional Omni Arch (GAC) foi utilizado como grupo controle. Todos os sistemas possuíam canaletas de 0.022” x 0,028” e foram utilizados fios de aço inoxidável de 0.018”, 0.018” x 0.025” e 0.019” x 0.025”. Os bráquetes foram angulados em 5° ou 10° em relação aos fios, para simular uma dobra de segunda ordem. Foram encontradas diferenças significantes, em relação às forças de atrito estático entre os diferentes sistemas. O bráquete Friction Free demonstrou o menor atrito e o bráquete TIME apresentou os maiores índices de atrito, inclusive maiores que os bráquetes convencionais. O estudo demonstrou que nem todos os bráquetes proporcionam uma “redução de atrito” como é alegado pelos fabricantes.

Também em 2003, HAIN; DHOPATKAR; ROCK¹⁴ avaliaram o método de ligação do bráquete ao fio, em relação ao atrito gerado. Nesse estudo *in vitro* foram analisados os níveis de atrito com um novo tipo de ligadura, a slick (TP Orthodontics), que reduz o nível de atrito, utilizando-se bráquetes metálicos convencionais (Minitwin, UNITEK) e de porcelana com canaleta metálica (Clarity, UNITEK), amarrados com ligaduras elásticas convencionais, com ligaduras elásticas slick e com amarrações metálicas. Para efeito de comparação, foi utilizado no teste um bráquete autoligado (SPEED, Strite Industries). Foram utilizados segmentos de fios de aço inoxidável de 0.019”x 0.025”. Foi demonstrado que este tipo de ligadura elástica, quando lubrificado com saliva, pode diminuir os níveis de atrito. O nível de atrito dos bráquetes autoligados foi menor do que os bráquetes amarrados com ligaduras elásticas convencionais. As ligaduras slick foram comparáveis ao bráquete autoligado. As amarrações metálicas frouxas produziram os menores níveis de atrito.

Em 2003, CACCIAFESTA⁸ et al. mediram e compararam o nível de resistência friccional entre bráquetes metálicos autoligados (Damon SL II, Ormco), bráquetes autoligados de policarbonato (Oyster, Gestenco) e bráquetes metálicos convencionais (Victory, UNITEK) e três diferentes tipos de liga: aço inoxidável, Ni-Ti e beta-titânio. Foram feitas medições em um aparelho especialmente projetado para medir a fricção cinética e estática. Os bráquetes autoligados metálicos geraram forças friccionalis mais baixas do que o sistema de policarbonato e convencional, os quais não mostraram diferenças significativas entre eles.

Abordando uma visão geral sobre os fenômenos relacionados ao atrito, ROUSSOUW³⁴ publicou um trabalho em 2003. Foram listadas diversas variáveis que afetam a resistência friccional em ortodontia, dentre elas se destacaram as propriedades físicas, como as propriedades dos fios em relação ao material, formato, tamanho, textura e rigidez. Também foram listadas como características físicas o processo de ligação do arco ao bráquete; por meio do uso de ligaduras metálicas ou elásticas e o método de ligação, ou seja, as diferenças entre bráquetes convencionais e autoligados. Da mesma forma, foram listadas as propriedades físicas relacionadas ao bráquete, como material, superfície, processo de fabricação, largura e profundidade da canaleta, desenho, prescrição e em relação ao aparelho ortodôntico como um todo, onde são considerados fatores como distância inter-bráquete, nível das canaletas e forças utilizadas na movimentação. Também foram listados os fatores biológicos que poderiam influenciar o atrito: saliva, placa, película adquirida, corrosão e partículas de alimentos. O autor discutiu ainda os conceitos básicos da física, a perda da força aplicada durante o tratamento e o controle do atrito durante o tratamento.

Para avaliar a resistência ao atrito de uma simulação de retração de um dente canino, SMITH; ROUSSOW; WATSON³⁹ publicaram um estudo, em 2003. O dispositivo de teste permitia uma inclinação e verticalização dinâmica e progressiva do bráquete, ao mesmo tempo em que ocorria a tração linear do bráquete que era aproximadamente parecida com uma retração de canino por mecânica de deslizamento. Foram utilizados seis tipos de bráquetes, sendo três convencionais: de metal (Victory, Unitek), cerâmico (Transcend 6000, Unitek) e cerâmico com canaleta metálica (Clarity, Unitek) e três tipos de bráquetes autoligados: ativo

(Speed, Strite Industries); passivo (Damon, Ormco) e autoligado com ligação variável (Time, American Orthodontics). Foram avaliados os fios de aço inoxidável e Ni-Ti nos diâmetros 0.018 “, 0,020”, 0.018“ x 0.025” e 0.021“ x 0.025”; os fios de aço trançado 0.0175“, 0.0195”, 0.018“x 0.025” e 0.021“ x 0.025” e os fios de Ni-Ti trançados de 0.018“e 0,020”. Os autores concluíram que os bráquetes cerâmicos com ou sem canaleta de metal proporcionaram o maior atrito, seguidos pelos bráquetes metálicos convencionais, pelos bráquetes autoligados ativos, pelos bráquetes autoligados com ligação variável. Os bráquetes autoligados passivos apresentaram o menor índice de atrito. Também concluíram que os fios de aço normal e de aço trançado provocaram mais atrito do que os fios de Ni-Ti. Da mesma forma, os fios de menor dimensão produziram menos atrito que os fios maiores e os fios redondos produziram menos atrito que os fios retangulares.

Em 2003, ROUSSOUW; KAMELCHUK; KUSY⁸⁵ efetuaram uma revisão fundamental das variáveis associadas com a dinâmica friccional de baixa velocidade. Os autores discutiram as leis básicas da física, relacionadas aos fenômenos de fricção e afirmaram que os padrões tradicionais utilizados na física clássica não podem ser aplicados diretamente à ortodontia, onde as magnitudes de força e velocidades de deslocamento são muito menores. Discutiram também que os estudos *in vitro* de resistência friccional em ortodontia relatam a quantificação de atrito estático e dinâmico. Contudo, os autores afirmaram que, a separação do atrito estático e dinâmico em estudos de ortodontia é sempre arbitrário e potencialmente enganoso porque em baixas velocidades, a resistência ao atrito estático e dinâmico é dinamicamente relacionada.

Procurando validar as afirmações dos fabricantes em relação a seus produtos, MENDES; ROUSSOW²⁸, também em 2003, efetuaram um estudo que buscava avaliar os efeitos da implantação de íons na superfície dos fios e/ou bráquetes e comparar esse tipo de processo com outras modalidades de redução de atrito. Foram avaliados os seguintes bráquetes: convencional de aço (Omni, GAC), convencional de aço com implantação de íons na superfície (Omni Golden, GAC), de aço de baixo atrito (Synergy, Rocky Mountain) e autoligado (Speed, Strite Industries). Todos os bráquetes avaliados possuíam uma canaleta de 0.018“ x 0.025”. Foram testados os fios de aço 0.016“, 0.016” x 0.022” (Rocky Mountain), Ni-Ti 0.016” x

0.022" (Unitek), Ni-Ti 0.016" x 0.022" com cobertura de plástico e silicone (Ortho Organizers); Ni-Ti 0.016" x 0.022" com implantação de íons (GAC), beta-titânio 0.016" x 0.022" (Ormco) e beta-titânio 0.016" x 0.022" com implantação de íons (Ormco). Os resultados sugeriram que a implantação de íons nos fios de Ni-Ti e beta-titânio, bem como na superfície dos bráquetes seriam meios efetivos de reduzir o atrito. Uma grande redução do atrito pode ser obtida pela amarração diferenciada, como ocorre no bráquete *Synergy*, com amarração apenas na aleta central. Para a obtenção de propriedades de baixo atrito com o bráquete autoligado ativo *Speed*, seria necessária uma correta combinação de fio e bráquete.

Para avaliar os efeitos do atrito em relação aos métodos de ligação ao arco ortodôntico, KHAMBAY; MILLET; McHUGH²¹, em 2004, realizaram um estudo *in vitro*. Foram testadas as forças de atrito produzidas por bráquetes convencionais (Mini Twin, Unitek) com fios de aço e beta-titânio, nos calibres 0.017" x 0.025" e 0.019" x 0.025" deslizando sobre eles. Foram testadas amarrações elásticas modulares: Alastik (Unitek) e SuperSlick (TP Orthodontics), nas cores púrpura e cinza e uma amarração pré-formada de aço 0.09". O bráquete autoligado Damon II (Ormco) e o mesmo bráquete convencional citado anteriormente, sem nenhum tipo de amarração foram utilizados como controle. O bráquete autoligado e o bráquete convencional sem amarração produziram forças de atrito desprezíveis. Para todos os tipos de fios testados, com exceção do beta-titânio 0.017" x 0.025", onde o módulo púrpura produziu menos força, a amarração com ligadura de aço produziu os menores índices de atrito. Os autores afirmaram que não houve um padrão consistente de força de atrito média entre as várias combinações de tipo e tamanho de fio e método de amarração. Afirmaram também, que sob as condições deste experimento, somente o uso de bráquetes autoligados passivos praticamente eliminou o atrito.

Em busca da observação do comportamento friccional de aparelhos ortodônticos HENAO; KUSY, em 2004¹⁸, avaliaram 4 tipos de bráquetes convencionais: Mini Diamond (Ormco); Mini Diamond (GAC), TipEdge (TP Orthodontics) e MiniMono HT (Forestadent) e 4 tipos de bráquetes autoligados: Damon II (Ormco), In-Ovation (GAC); Speed (Strite Industries) e Time (American Orthodontics). Foi efetuada uma simulação

laboratorial, utilizando uma máquina de testes, realizando análises de relacionamentos de dois bráquetes, deslizando por eles três tipos de arcos (Ni-Ti de 0.014", 0.016" x 0.022" e 0.019" x 0.025"). Cada conjunto de bráquetes foi montado sobre um dos quadrantes de um modelo de acrílico, sendo que cada quadrante possuía um grau de má oclusão mais acentuado. As observações foram feitas em estado seco e úmido. De forma geral, as forças de atrito foram maiores nos bráquetes convencionais, nos fios de maior calibre e nos quadrantes com a má oclusão mais severa, porém nos fios mais finos, a diferença de atrito entre os bráquetes autoligados e convencionais foi mais acentuada. Em relação aos testes em campo seco e úmido, a diferença só foi significativa para um tipo de bráquete (In-Ovation), em um dos quadrantes.

Em 2005, HENAO; KUSY¹⁹ efetuaram um estudo utilizando modelos dentais (typodont) para avaliar os efeitos friccionais de quatro tipos diferentes de bráquetes autoligados: SPEED (Strite Industries), Time (American Orthodontics), In-Ovation (GAC) e Damon II (Ormco) tendo um bráquete convencional, o Mini Diamond (Ormco) como controle. Foram efetuados dois experimentos, utilizando-se os modelos montados com os bráquetes. No primeiro experimento utilizou-se uma seqüência de arcos sugeridos por cada fabricante, específica para cada sistema e no segundo experimento, foi utilizada uma seqüência de arcos igual para todos os sistemas. No experimento, ficou claro que o parâmetro que melhor se relaciona com as forças liberadas foi a rigidez de dobramento do fio a qual está diretamente associada com a dimensão de cada fio.

Para avaliar o atrito, em um teste de laboratório, TECCO et al.⁴⁰, em 2005, analisaram um sistema com dez bráquetes montados. Foram utilizados dois sistemas autoligados: Damon SL II (Ormco) e Time Plus (American Orthodontics) e um sistema convencional, Victory (UNITEK). Todos os sistemas foram testados com três diferentes tipos de ligas metálicas, aço Inoxidável, Ni-Ti e Beta-titânio; em três medidas diferentes, 0.016", 0,017" x 0.025" e 0.019" x 0.025". O sistema Time Plus gerou uma fricção significativamente inferior, quando comparado com os outros sistemas. Porém, o bráquete Damon SL II gerou menos fricção quando fios redondos eram usados. O fio beta-titânio foi o que gerou mais fricção e todos os bráquetes mostraram mais força friccional conforme a espessura do arco aumentou. O trabalho

também demonstrou que o modelo de estudo contendo dez bráquetes mantém a concordância com os achados nos sistemas que utilizam um ou três bráquetes.

Em 2005, GRIFFITHS et al¹³. testaram um novo tipo de ligadura elástica (SuperSlick, TP Orthodontics), que se propõe a reduzir o atrito na ligação com o arco de forma significativa. Foram utilizados bráquetes autoligados, do sistema Damon SL II (Ormco) e bráquetes de porcelana, do tipo Inspire(Ormco). Os bráquetes autoligados foram testados com seu dispositivo de fechamento ativo e com o dispositivo de fechamento aberto e amarrados com ligaduras elásticas, para funcionar como um bráquete convencional. Os bráquetes de porcelana foram amarrados com amarrações elásticas. Foram utilizadas no teste as amarrações elásticas tipo SuperSlick, e amarrações elásticas convencionais de perfil redondo e quadrado. Os bráquetes autoligados, com o dispositivo de fechamento ativo, foram os que exibiram a menor resistência friccional ao deslizamento. A ligadura elástica Super Slick demonstrou uma resistência friccional maior do que a amarração elástica de perfil redondo e menor do que a de perfil quadrado. Os bráquetes de porcelana exibiram as maiores resistências ao deslizamento.

Para avaliar o desempenho de um bráquete autoligado e um bráquete convencional, MILES; WEYANT; RUSTVELD²⁹, em 2006, efetuaram um estudo clínico. O objetivo do estudo foi comparar a efetividade e o conforto entre os bráquetes: autoligado passivo Damon 2 (Ormco) e convencional metálico Victory MBT (Unitek). No estudo, um dos lados do arco mandibular foi montado com os bráquetes convencionais e o outro lado com os bráquetes autoligados, de um total de 60 pacientes consecutivamente tratados. Foi anotado o Índice de Irregularidade para todos os hemiarcos no início do tratamento, na primeira troca de arco, com 10 semanas e na segunda troca de arcos, com mais 10 semanas. Qualquer diferença em desconforto foi assinalada nos primeiros dias após a instalação do primeiro arco e após as trocas dos arcos subseqüentes. Também foram avaliados: conforto dos lábios, aparência preferida e índice de falhas dos respectivos bráquetes. Os resultados demonstraram que o bráquete autoligado não foi mais eficiente na redução do índice de irregularidade do que o bráquete convencional. Também ficou demonstrado que o bráquete autoligado provocou menos desconforto no arco inicial, entretanto foi mais

desconfortável na colocação do segundo arco bem como houve um maior índice de descolamento do autoligado durante o estudo.

Proposição

3. PROPOSIÇÃO

Devido aos poucos estudos referentes aos bráquetes autoligados estéticos e da divergência de resultados na comparação do atrito proporcionado pelos bráquetes autoligados e convencionais, este estudo se propôs a comparar os níveis de atrito estático existentes entre os bráquetes: autoligado estético (Opal, Ultradent) e autoligado metálico (Damon II, Ormco) com dois tipos de bráquetes convencionais metálicos (Mini 2000, Ormco e Roth Standard, Morelli), verificando a influência da angulação entre bráquetes e fios, com o uso de diferentes tipos e diâmetros de fios.

Material e Método

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Material Utilizado

4.1.1 Bráquetes (Figura 4.1):

- 6 Bráquetes de pré-molares superiores autoligados estéticos Opal, de plástico policristalino, fabricante Ultradent, prescrição Roth, canaleta 0.022" x 0.028"
- 6 Bráquetes de pré-molares superiores autoligados metálicos, tipo Damon II, de aço, fabricante Ormco, prescrição Roth, canaleta 0.022" x 0.027"
- 6 Bráquetes de pré-molares convencionais, tipo Mini 2000, fabricante Ormco, de aço, prescrição Roth, canaleta 0.022" x 0.028"
- 6 Bráquetes de pré-molares convencionais, tipo Roth Standard, de aço, fabricante Morelli, prescrição Roth, canaleta 0.022" x 0.028"

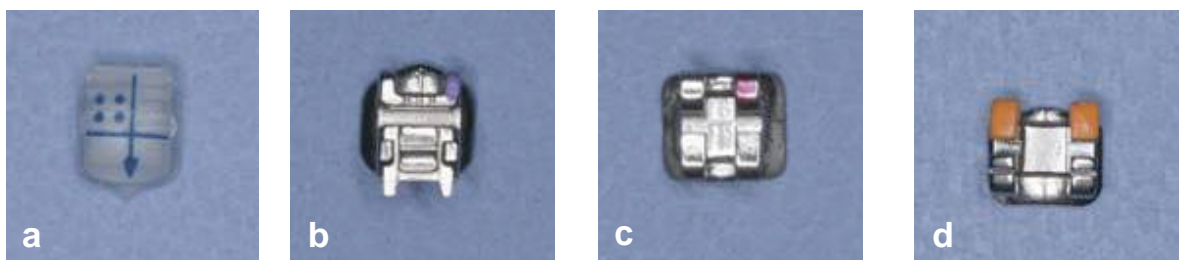


Figura 4.1 : Bráquetes utilizados: a- Opal (Ultradent); b- Damon 2 (Ormco); c- Roth Standard (Morelli); d- Mini 2000 (Ormco).

4.1.2 Fios:

- 12 segmentos de fios de aço inoxidável, nos calibres 0.016", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de aço inoxidável, no calibre 0.017" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de aço inoxidável, no calibre 0.019" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de Ni-Ti, nos calibres 0.016", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de Ni-Ti, no calibre 0.017" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de Ni-Ti, no calibre 0.019" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de beta-titânio, nos calibres 0.016", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de beta-titânio, no calibre 0.017" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.
- 12 segmentos de fios de beta-titânio, no calibre 0.019" x 0.025", fabricante Morelli, retificado em barras de 30 cm e cortado manualmente em segmentos de 8 cm.

4.1.3 Dispositivos de teste para montagem de bráquetes (Figura 4.2):

- Dispositivos de montagem de bráquetes, feitos em aço inoxidável, pelo departamento de engenharia da Morelli Ortodontia, fabricados sob medida para a execução do experimento, nas angulações de 0°, angulação 1ª ordem em 3° e angulação de 2ª ordem em 3°.

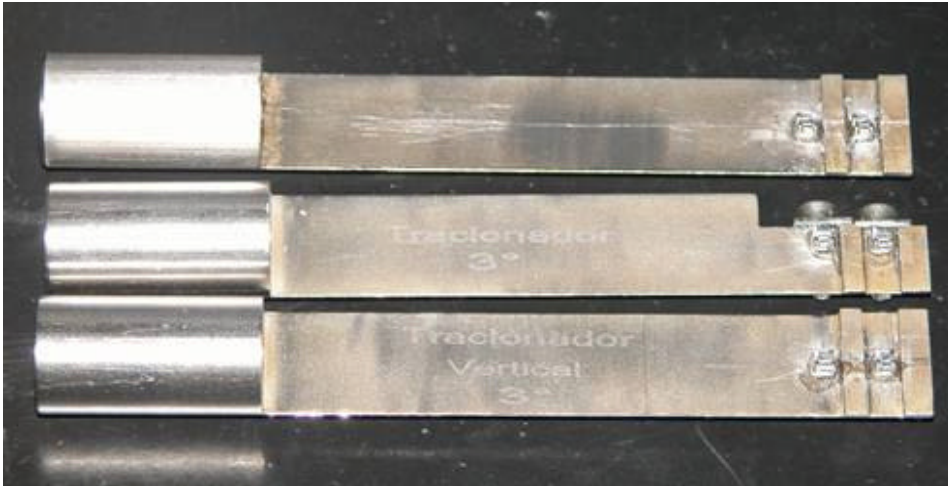


Figura 4.2 : Dispositivos de teste, para montagem de bráquetes, nas angulações 0°, 3° vertical e 3° horizontal.

4.1.4 Ligaduras:

- Ligaduras elásticas modulares, cor vermelha, fabricante Morelli Ortodontia

4.1.5 Dispositivo de montagem dos fios:

- Dispositivos de montagem de fios, feitos em aço inoxidável, pelo departamento de engenharia da Morelli Ortodontia, fabricados sob medida para a execução do experimento, para posicionamento dos fios corretamente na pinça de tração.

4.1.6 Nível de bolha.

4.1.7 Cola à base de cianoacrilato, marca Superbond.

4.1.8 Alicates de abertura da tampa de fechamento do bráquete Damon.

4.1.9 Ferramenta de abertura da tampa do bráquete Opal.

4.1.10 Máquina universal de testes, marca EMIC DL 2000.

4.1.11 Programa de computação TESC 3.01.

4.1.12 Microcomputador, tipo notebook, marca Compaq, modelo nx9005.

4.1.13 Programa editor de texto Word.

4.1.14 Programa Excel.

4.2 Método

Cada conjunto de dois bráquetes foi montado em 3 diferentes posições: com os bráquetes completamente alinhados no sentido horizontal e vertical (0°), com os bráquetes montados simulando uma dobra de primeira ordem em 3° e com os bráquetes simulando uma dobra de segunda ordem em 3° (Figura 4.3). Para a obtenção destes posicionamentos, foram construídos 3 diferentes dispositivos de teste, que reproduzissem estas condições (Figura 4.2). Os dispositivos foram construídos de forma que o centro de cada bráquete estivesse com uma distância de 8 milímetros entre eles, o que corresponde a distância média interbráquetes que encontramos habitualmente em situações clínicas.

Os bráquetes utilizados nos experimentos foram colados em cada um dos dispositivos de teste. Para a colagem, foi utilizada cola à base de cianoacrilato, sendo que cada conjunto foi colado com 2 horas de antecedência ao início das medições, assegurando que a cola secasse efetivamente. Para que os bráquetes montados nos corpos de prova sem angulação e com angulação horizontal de 3° ficassem perfeitamente alinhados, foi utilizado um segmento de fio de aço, na espessura de 0.021"x 0.025", visando um correto posicionamento de colagem e evitando que alterações no posicionamento dos bráquetes pudessem interferir nos resultados. No corpo de prova com angulação vertical de 3° , os bráquetes foram colados em contato com o limitador de posição, que determina a diferença de altura dos bráquetes e propicia a angulação vertical referida acima.

Em seguida, foi feita a montagem dos corpos de prova, com seus respectivos bráquetes já colados no eixo da máquina de testes, que consiste numa

haste em forma de parafuso, onde a base do corpo de prova é rosqueada. Nesta fase, foi utilizado um nível de bolha, para verificação do alinhamento dos corpos de prova com a base da máquina e com a pinça de tracionamento do fio, procurando evitar que um possível desalinhamento interferisse nos resultados (Figura 4.4).

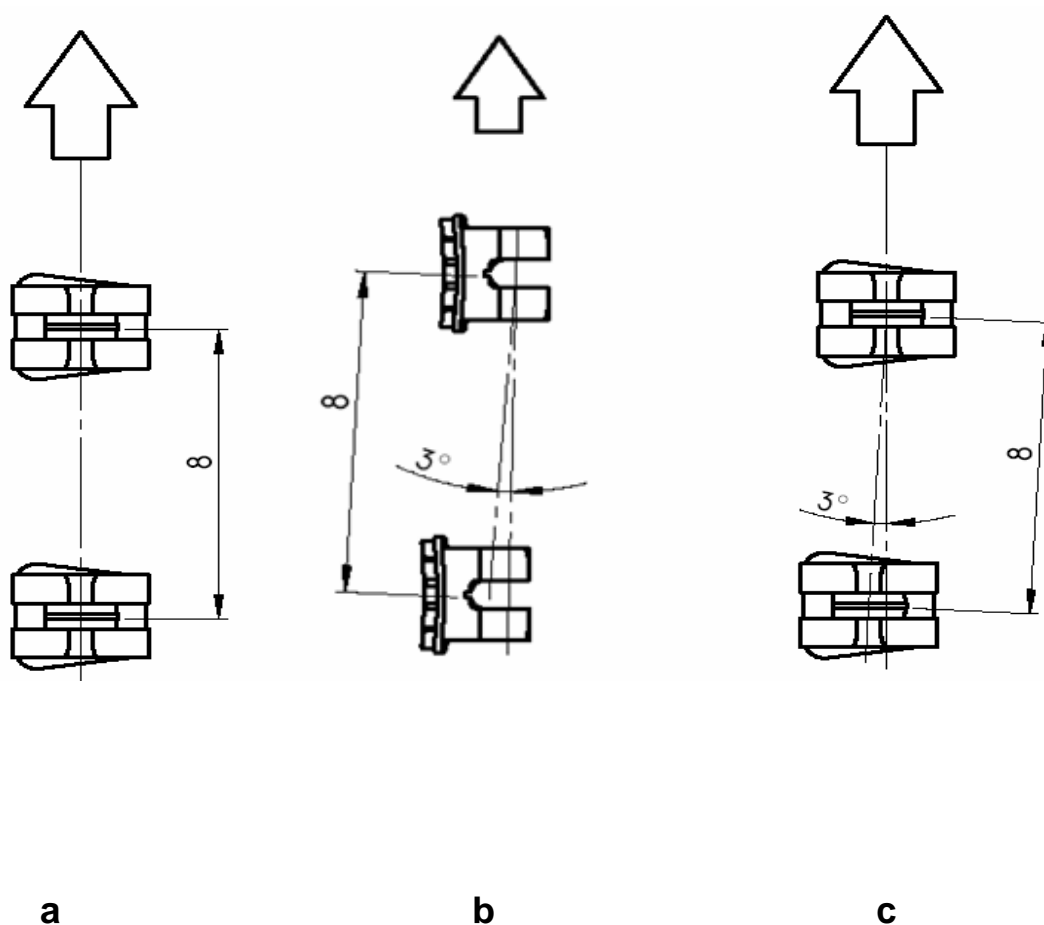


Figura 4.3 : Desenho esquemático do projeto dos dispositivos de teste, para montagem de bráquetes: a- bráquetes alinhados ; b- desalinhamento de 1ª ordem em 3°; c- desalinhamento de 2ª ordem em 3°.



Figura 4.4 : Nível de bolha para verificação do alinhamento do dispositivo de teste

O fio a ser utilizado para teste foi montado sobre a pinça que é ligada a máquina de teste, para se efetuar o teste de tração. Para que todos os fios fossem montados de maneira igual, sem nenhum tipo de alteração de posicionamento horizontal, vertical ou de torção foi projetada uma ferramenta especial, que consiste num encaixe para a fixação da pinça e uma plataforma, a qual possibilita que todos os fios sejam posicionados sempre na mesma posição e altura. Isso é importante, pois possibilita que os fios fiquem no melhor alinhamento possível com o corpo de prova, para não interferir com os resultados. A ferramenta foi projetada e construída pelo departamento de engenharia da Morelli Ortodontia, a partir de solicitação do pesquisador (Figura 4.5).



Figura 4.5: Pinça de tracionamento e ferramenta de posicionamento

A máquina de testes utilizada foi a EMIC DL 2000, aferida conforme certificado. Continha uma célula de carga de 10 quilogramas, calibrada para efetuar medições com intervalos de 1 g. A máquina consiste num dispositivo onde se pode fixar o corpo de prova em sua base e duas colunas verticais, dotadas de motores que possibilitam a movimentação de uma barra vertical, onde se posiciona a pinça de fixação do fio. Com o movimento dessa barra horizontal, ocorre o deslocamento do fio posicionado sobre o bráquete, permitindo a observação das forças de atrito geradas (Figura 4.6). A observação da geração do atrito é possível devido à deformação sofrida pela célula de carga que está acoplada a máquina e o registro das forças de atrito é feita por um programa específico, associado a um micro computador. A célula de carga registra os níveis de força necessários para se mover o fio ao longo dos bráquetes. Os dados são registrados em um gráfico de dois eixos (XY). O eixo X registra o movimento em milímetros por segundo (velocidade). O eixo Y registra a força necessária, em newtons, para que esse deslocamento aconteça. A velocidade utilizada no teste foi de 100 mm por minuto.

Cada conjunto de bráquetes e fios foi testado cinco vezes, nas suas respectivas angulações (0°, 3° em 1ª ordem e 3° em 2ª ordem), com os três tipos de ligas (aço inoxidável, Ni-Ti e Beta-titânio) nos três diferentes de calibres (0.016", 0.017" x 0.025" e 0.019" x 0.025"). Os testes foram executados com os conjuntos de bráquetes e fios em estado seco e em temperatura ambiente.

Em todos os testes, a primeira medição foi desprezada, para que uma possível variável de acomodação da máquina não interferisse com os resultados. Com isso foram obtidas um total de 432 medições de conjuntos de bráquetes e fios. Após a montagem de cada conjunto de bráquetes, em uma respectiva angulação, a aplicação dos fios foi feita de maneira aleatória, seguindo uma seqüência fornecida por um programa de números aleatórios.



Figura 4.6: Dispositivo de teste e máquina universal de testes EMIC DL 2000

Após cada medição, a máquina parava automaticamente e cada conjunto de bráquetes e fio era reposicionado. Os bráquetes autoligados eram abertos e nos convencionais removiam-se as ligaduras elásticas. O dispositivo de tração voltava à posição zero e a máquina era recalibrada, em relação à carga. A seguir o conjunto bráquete-fio era novamente adaptado. Os bráquetes autoligados tinham suas tampas fechadas e os convencionais recebiam um novo conjunto de ligaduras elásticas. Todas

as ligações, dos bráquetes autoligados e dos bráquetes convencionais, foram efetuadas pelo mesmo operador, como forma de uniformizar esses procedimentos.

4.3– Análise estatística

O programa Tesc, versão 3.01, utilizado pela máquina universal de testes EMIC DL 2000, forneceu os dados estatísticos de cada medição, consistindo nos valores máximos, mínimos, médias, mediana e desvio padrão. Para comparação entre os tipos de bráquetes, angulação, tipos de fio e diâmetros de fio foi utilizada a Análise de Variância a quatro critérios modelo fixo e o teste de comparações múltiplas de Tukey, sendo adotado nível de significância de 5%.

Resultados

5. RESULTADOS:

Os resultados obtidos encontram-se demonstrados nas tabelas que se seguem.

Na tabela 5.1 estão expostos as médias e desvios padrão do atrito estático máximo divididos por diâmetros dos fios, tipos de fios e angulação dos bráquetes para cada modelo de bráquete testados.

A tabela 5.2 demonstra as médias do atrito estático máximo obtido, desvio padrão e teste de Tukey dos diferentes tipos de bráquetes e fios na angulação de 0°.

A tabela 5.3 demonstra as médias do atrito estático máximo obtido, desvio padrão e teste de Tukey dos diferentes tipos de bráquetes e fios na angulação de 1ª ordem em 3°.

A tabela 5.4 demonstra as médias do atrito estático máximo obtido, desvio padrão e teste de Tukey dos diferentes tipos de bráquetes e fios na angulação de 2ª ordem em 3°.

A tabela 5.5 demonstra as médias de atrito estático máximo obtido, desvio padrão e resultado do teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de aço.

A tabela 5.6 demonstra as médias de atrito estático máximo obtido, desvio padrão e resultado do teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de Ni-Ti.

A tabela 5.7 demonstra as médias de atrito estático máximo obtido, desvio padrão e resultado do teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de beta-titânio.

Tabela 5.1 - Médias e desvios padrão do atrito estático medido, por diâmetros dos fios, tipos de fios e angulação dos bráquetes para cada modelo de bráquete testados.

Angulo	Bráquete	Fio	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017"x 0.025"		0.019"x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
0°	Opal	Aço	-0,005	0,006	0,038	0,013	0,050	0,012
		NiTi	0,013	0,010	-0,002	0,005	0,052	0,005
		β-Ti	0,013	0,005	0,007	0,005	0,210	0,024
	Damon 2	Aço	0,002	0,010	0,087	0,067	3,197	0,150
		NiTi	0,007	0,005	0,018	0,005	2,350	0,094
		β-Ti	0,005	0,006	0,023	0,005	4,460	0,484
	Ormco	Aço	2,063	0,217	2,527	0,153	2,930	0,116
		NiTi	1,808	0,050	2,412	0,279	3,650	0,302
		β-Ti	3,622	0,605	5,313	0,409	7,160	0,777
	Morelli	Aço	1,697	0,224	2,168	0,172	2,862	0,118
		NiTi	1,255	0,085	2,455	0,338	2,697	0,443
		β-Ti	2,460	0,396	3,088	0,182	4,503	0,476
3° (1ª ordem)	Opal	Aço	0,013	0,010	0,135	0,013	0,447	0,086
		NiTi	0,005	0,006	0,177	0,033	0,400	0,014
		β-Ti	0,005	0,006	0,260	0,022	0,488	0,091
	Damon 2	Aço	0,002	0,005	9,670	0,999	12,042	1,596
		NiTi	0,005	0,006	6,005	0,684	5,528	0,108
		β-Ti	0,005	0,006	20,455	0,836	19,845	1,683
	Ormco	Aço	2,050	0,045	2,463	0,238	2,595	0,247
		NiTi	1,810	0,058	3,168	0,402	2,505	0,225
		β-Ti	3,402	0,578	4,352	0,530	4,205	0,746
	Morelli	Aço	1,322	0,084	2,043	0,090	2,267	0,198
		NiTi	1,933	0,138	2,365	0,236	2,303	0,240
		β-Ti	2,477	0,406	3,582	0,473	3,922	0,347
3° (2ª ordem)	Opal	Aço	0,105	0,017	0,990	0,070	2,203	0,122
		NiTi	0,083	0,017	1,300	0,088	2,128	0,136
		β-Ti	0,068	0,015	1,508	0,137	2,953	0,271
	Damon 2	Aço	0,020	0,008	2,570	0,090	7,990	0,383
		NiTi	0,023	0,005	0,757	0,050	3,605	0,432
		β-Ti	0,027	0,005	3,168	0,185	11,892	0,860
	Ormco	Aço	2,088	0,066	2,855	0,210	2,682	0,254
		NiTi	2,072	0,142	2,710	0,369	3,078	0,368
		β-Ti	4,010	0,574	4,613	0,349	5,615	0,716
	Morelli	Aço	1,582	0,098	1,890	0,048	4,075	0,651
		NiTi	2,447	0,081	2,350	0,227	3,368	0,527
		β-Ti	2,285	0,306	3,098	0,417	5,780	0,373

Tabela 5.2 - Média, desvio padrão e Teste de Tukey para a comparação entre os tipos de bráquete para cada um dos tipos de fio e diâmetros testados, na angulação de 0°.

Angulo	Fio	Bráquete	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017"x 0.025"		0.019"x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
0°	Aço	Opal	-0,005 ^a	0,006	0,038 ^a	0,013	0,050 ^a	0,012
		Damon 2	0,002 ^a	0,010	0,087 ^a	0,067	3,197 ^b	0,150
		Ormco	2,063 ^b	0,217	2,527 ^b	0,153	2,930 ^b	0,116
		Morelli	1,697 ^b	0,224	2,168 ^b	0,172	2,862 ^b	0,118
	NiTi	Opal	0,013 ^a	0,010	-0,002 ^a	0,005	0,052 ^a	0,005
		Damon 2	0,007 ^a	0,005	0,018 ^a	0,005	2,350 ^b	0,094
		Ormco	1,808 ^b	0,050	2,412 ^b	0,279	3,650 ^c	0,302
		Morelli	1,255 ^b	0,085	2,455 ^b	0,338	2,697 ^{bc}	0,443
	β-Ti	Opal	0,013 ^a	0,005	0,007 ^a	0,005	0,210 ^a	0,024
		Damon 2	0,005 ^a	0,006	0,023 ^a	0,005	4,460 ^b	0,484
		Ormco	3,622 ^b	0,605	5,313 ^b	0,409	7,160 ^c	0,777
		Morelli	2,460 ^b	0,396	3,088 ^c	0,182	4,503 ^b	0,476

Tipos de bráquete com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Tabela 5.3 - Média, desvio padrão e Teste de Tukey para a comparação entre os tipos de bráquete para cada um dos tipos de fio e diâmetros testados, na angulação de 1ª ordem em 3°.

Angulo	Fio	Bráquete	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017"x 0.025"		0.019"x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
3° (1ª ordem)	Aço	Opal	0,013 ^a	0,010	0,135 ^a	0,013	0,447 ^a	0,086
		Damon 2	0,002 ^a	0,005	9,670 ^b	0,999	12,042 ^b	1,596
		Ormco	2,050 ^b	0,045	2,463 ^c	0,238	2,595 ^c	0,247
		Morelli	1,322 ^b	0,084	2,043 ^c	0,090	2,267 ^c	0,198
	NiTi	Opal	0,005 ^a	0,006	0,177 ^a	0,033	0,400 ^a	0,014
		Damon 2	0,005 ^a	0,006	6,005 ^b	0,684	5,528 ^b	0,108
		Ormco	1,810 ^b	0,058	3,168 ^c	0,402	2,505 ^c	0,225
		Morelli	1,933 ^b	0,138	2,365 ^c	0,236	2,303 ^c	0,240
	β-Ti	Opal	0,005 ^a	0,006	0,260 ^a	0,022	0,488 ^a	0,091
		Damon 2	0,005 ^a	0,006	20,455 ^b	0,836	19,845 ^b	1,683
		Ormco	3,402 ^b	0,578	4,352 ^c	0,530	4,205 ^c	0,746
		Morelli	2,477 ^b	0,406	3,582 ^c	0,473	3,922 ^c	0,347

Tipos de bráquete com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Tabela 5.4 - Média, desvio padrão e Teste de Tukey para a comparação entre os tipos de bráquete para cada um dos tipos de fio e diâmetros testados, na angulação de 2ª ordem em 3º.

Ângulo	Fio	Bráquete	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017" x 0.025"		0.019" x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
3º (2ª ordem)	Aço	Opal	0,105 ^a	0,017	0,990 ^a	0,070	2,203 ^a	0,122
		Damon 2	0,020 ^a	0,008	2,570 ^b	0,090	7,990 ^b	0,383
		Ormco	2,088 ^b	0,066	2,855 ^b	0,210	2,682 ^a	0,254
	NiTi	Morelli	1,582 ^b	0,098	1,890 ^b	0,048	4,075 ^c	0,651
		Opal	0,083 ^a	0,017	1,300 ^a	0,088	2,128 ^a	0,136
		Damon 2	0,023 ^a	0,005	0,757 ^a	0,050	3,605 ^b	0,432
		Ormco	2,072 ^b	0,142	2,710 ^b	0,369	3,078 ^{ab}	0,368
	β-Ti	Morelli	2,447 ^b	0,081	2,350 ^b	0,227	3,368 ^b	0,527
		Opal	0,068 ^a	0,015	1,508 ^a	0,137	2,953 ^a	0,271
		Damon 2	0,027 ^a	0,005	3,168 ^b	0,185	11,892 ^b	0,860
		Ormco	4,010 ^b	0,574	4,613 ^c	0,349	5,615 ^c	0,716
			Morelli	2,285 ^c	0,306	3,098 ^b	0,417	5,780 ^c

Tipos de bráquete com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Tabela 5.5 - Média, desvio padrão e resultado do Teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de aço inoxidável.

Fio	Bráquete	Ang.	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017" x 0.025"		0.019" x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
Aço	Opal	0º	-0,005 ^a	0,006	0,038 ^a	0,013	0,050 ^a	0,012
		3º (1ª)	0,013 ^a	0,010	0,135 ^a	0,013	0,447 ^a	0,086
		3º (2ª)	0,105 ^a	0,017	0,990 ^a	0,070	2,203 ^b	0,122
	Damon 2	0º	0,002 ^a	0,010	0,087 ^a	0,067	3,197 ^a	0,150
		3º (1ª)	0,002 ^a	0,008	9,670 ^b	0,090	12,042 ^b	0,383
		3º (2ª)	0,020 ^a	0,008	2,570 ^b	0,090	7,990 ^b	0,383
	Ormco	0º	2,063 ^a	0,217	2,527 ^a	0,153	2,930 ^a	0,116
		3º (1ª)	2,050 ^a	0,045	2,463 ^a	0,238	2,595 ^a	0,247
		3º (2ª)	2,088 ^a	0,066	2,855 ^a	0,210	2,682 ^a	0,254
	Morelli	0º	1,697 ^a	0,224	2,168 ^a	0,172	2,862 ^a	0,118
		3º (1ª)	1,322 ^a	0,084	2,043 ^a	0,090	2,267 ^a	0,198
		3º (2ª)	1,582 ^a	0,098	1,890 ^a	0,048	4,075 ^b	0,651

Angulações com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Tabela 5.6 - Média, desvio padrão e resultado do Teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de Ni-Ti.

Fio	Bráquete	Ang.	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017"x 0.025"		0.019"x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	Dp
Ni-Ti	Opal	0°	0,013 ^a	0,010	-0,002 ^a	0,005	0,052 ^a	0,005
		3° (1 ^a)	0,005 ^a	0,006	0,177 ^{ab}	0,033	0,400 ^b	0,014
		3° (2 ^a)	0,083 ^a	0,017	1,300 ^b	0,088	2,128 ^b	0,136
	Damon 2	0°	0,007 ^a	0,005	0,018 ^a	0,005	2,350 ^a	0,094
		3° (1 ^a)	0,005 ^a	0,006	6,005 ^b	0,684	5,528 ^c	0,108
		3° (2 ^a)	0,023 ^a	0,005	0,757 ^a	0,050	3,605 ^b	0,432
	Ormco	0°	1,808 ^a	0,050	2,412 ^a	0,279	3,650 ^a	0,302
		3° (1 ^a)	1,810 ^a	0,058	3,168 ^a	0,402	2,505 ^a	0,225
		3° (2 ^a)	2,072 ^a	0,142	2,710 ^a	0,369	3,078 ^a	0,368
	Morelli	0°	1,255 ^a	0,085	2,455 ^a	0,338	2,697 ^a	0,443
		3° (1 ^a)	1,933 ^a	0,138	2,365 ^a	0,236	2,303 ^a	0,240
		3° (2 ^a)	2,447 ^a	0,081	2,350 ^a	0,227	3,368 ^a	0,527

Angulações com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Tabela 5.7 - Média, desvio padrão e resultado do Teste de Tukey para a comparação entre as angulações, para cada um dos modelos de bráquete testados e diâmetros do fio, para o fio de beta-titânio.

Fio	Bráquete	Fio	Diâmetro do fio					
			0.016"		0.017"x 0.025"		0.019"x 0.025"	
			média	dp	média	dp	média	dp
Beta-Titânio	Opal	0°	0,013 ^a	0,005	0,007 ^a	0,005	0,210 ^a	0,024
		3° (1 ^a)	0,005 ^a	0,006	0,260 ^a	0,022	0,488 ^a	0,091
		3° (2 ^a)	0,068 ^a	0,015	1,508 ^b	0,137	2,953 ^b	0,271
	Damon 2	0°	0,005 ^a	0,006	0,023 ^a	0,005	4,460 ^a	0,484
		3° (1 ^a)	0,005 ^a	0,006	20,455 ^c	0,836	19,845 ^c	1,683
		3° (2 ^a)	0,027 ^a	0,005	3,168 ^b	0,185	11,892 ^b	0,860
	Ormco	0°	3,622 ^a	0,605	5,313 ^a	0,409	7,160 ^a	0,777
		3° (1 ^a)	3,402 ^a	0,578	4,352 ^a	0,530	4,205 ^c	0,746
		3° (2 ^a)	4,010 ^a	0,574	4,613 ^a	0,349	5,615 ^b	0,716
	Morelli	0°	2,460 ^a	0,396	3,088 ^a	0,182	4,503 ^a	0,476
		3° (1 ^a)	2,477 ^a	0,406	3,582 ^a	0,473	3,922 ^c	0,347
		3° (2 ^a)	2,285 ^a	0,306	3,098 ^a	0,417	5,780 ^b	0,373

Angulações com mesma letra minúscula não possuem diferença estatisticamente significativa entre si.

Discussão

6. DISCUSSÃO

Em função da quantidade de dados a serem analisados e devido à variedade de metodologias empregadas nos artigos pesquisados, este capítulo foi dividido nos tópicos que seguem, de forma a facilitar a compreensão deste trabalho:

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA EMPREGADA

6.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

6.2.1 INFLUÊNCIA DO TIPO DE BRÁQUETE SOBRE O ATRITO

6.2.1.1 Angulação de 0°

6.2.1.2 Angulação de primeira ordem em 3°

6.2.1.3 Angulação de segunda ordem em 3°

6.2.2 INFLUÊNCIA DA ANGULAÇÃO NOS DIFERENTES TIPOS DE FIOS E NA SECÇÃO TRANSVERSAL

6.2.2.1 Fio de aço

6.2.2.2 Fio de Ni-Ti

6.2.2.3 Fio de beta-titânio

6.3 CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA EMPREGADA

Na revisão de literatura efetuada foram compilados 34 trabalhos que executaram experimentos sobre atrito, com o uso de bráquetes autoligados e convencionais. A grande dificuldade encontrada para a comparação de resultados nos estudos pesquisados é não existir uma padronização neste tipo de teste, fato este que já foi ressaltado por outros autores anteriormente^{25,34,37,38}.

As principais diferenças encontradas na metodologia em relação a este trabalho foram na quantidade de bráquetes testados em cada etapa, onde 27 estudos utilizaram apenas um bráquete no experimento; dois estudos utilizaram quatro bráquetes^{30,45}, dois estudos utilizaram quatro bráquetes e um tubo^{18,19}, um estudo utilizou dois bráquetes e um tubo¹³, um estudo utilizou 10 bráquetes⁴⁰ e apenas um trabalho utilizou dois bráquetes³⁸, similarmente a este estudo. É importante salientar que a segunda grande diferença foi em relação aos testes com angulação entre bráquete e fio, onde 19 estudos utilizaram angulações de 2ª ordem; 13 estudos não utilizaram angulação^{5,8,12-15,20,21,28,36,38,40,41,47}, um estudo avaliou a angulação de 2ª ordem e o torque (3ª ordem)³⁸ e apenas um trabalho avaliou angulações de 1ª ordem³, que foi uma das avaliações também realizadas neste estudo, além da avaliação da angulação de 2ª ordem. Outra variável testada pelos autores foi quanto ao uso de lubrificação, sendo que 22 trabalhos foram executados sem lubrificação, 4 foram executados com lubrificação^{12,21,26,31} e 7 foram executados com e sem lubrificação^{13,14,18,32,42,43,46}. Entretanto, o fator que apresentou maior variabilidade nos trabalhos estudados foi em relação à velocidade empregada para o tracionamento dos dispositivos, que variou de 0,025 mm/minuto¹¹ até 20 mm/minuto²¹.

Este trabalho utilizou uma metodologia de estudo empregando um conjunto de dois bráquetes, montados sobre um dispositivo de testes, no qual os fios eram tracionados ao longo das canaletas. Os bráquetes foram montados em três diferentes dispositivos de teste que proporcionaram uma posição de alinhamento (0°), uma posição de desalinhamento de 1ª ordem em 3° e uma posição de desalinhamento de 2ª ordem em 3°. Esta metodologia tem algumas semelhanças às propostas por

TIDY(1989)⁴⁵, que utilizou 4 bráquetes, sendo que um deles sofria uma inclinação devido à uma força aplicada fora do centro de resistência; por SIMS; WATERS; BIRNIE (1994)³⁸, onde foram utilizados 2 bráquetes em inclinações de 0°, 2°, 4° e 6° de 2ª ordem, porém com adição de torque variando de 0 a 25°; por O´REILLY et al (1999)³⁴, que utilizou 4 bráquetes sem angulação, mas submetidos à aplicação de vibrações intermitentes; por HENAO; KUSY (2004)¹⁸ e HENAO; KUSY (2005)¹⁹, que utilizaram 4 bráquetes e um tubo montados em *typodonts*, onde havia diferenças de inclinação devido ao desalinhamento dentário, apresentando possivelmente inclinações de 1ª e 2ª ordem simultaneamente ; por GRIFFITHS; SHERRIFF; IRELAND (2005)¹³, que utilizaram conjuntos de dois bráquetes e um tubo, sem inclinação; e por TECCO et al. (2005)⁴⁰, que utilizaram dispositivos com 10 bráquetes, também sem inclinação. Dos trabalhos pesquisados, somente o de BEDNAR; GRUENDEMAN (1993)³ pesquisou dobras de 1ª ordem, onde o bráquete a ser tracionado podia sofrer um movimento de rotação sendo, portanto, o único trabalho passível de comparação no teste de atrito com angulação de 1ª ordem.

A velocidade do teste empregada neste experimento foi de 100 mm/minuto, para permitir uma otimização do tempo total dispendido na realização dos testes, já que concluiu-se que velocidade não é um fator relevante para os resultados do teste entre estes materiais, como afirmado por TIDY (1989)⁴⁵ e YOUNG (2003)⁴⁸, que descrevem as três leis clássicas da física de atrito onde: 1) o atrito é proporcional à força agindo perpendicularmente ao objeto; 2) o atrito é independente da área de contato e 3) o atrito é independente da velocidade de deslizamento.

Avaliando especificamente na Ortodontia o movimento associado ao deslizamento, KUSY; WHITLEY²², pesquisaram diferentes tipos de fios, submetidos ao deslizamento, em contato com superfícies de aço, em velocidades que variaram de 10 até 5×10^{-4} mm/minuto. Nesse trabalho, os autores relataram que os fios de aço e NiTi não sofreram influência da variação de velocidade, porém as ligas de beta-titânio apresentaram um comportamento diferente, com maior coeficiente de atrito nas velocidades mais altas e um coeficiente de atrito menor nas velocidades mais baixas. Segundo esses autores, esse comportamento da liga de beta-titânio provavelmente se deve à sua característica química, onde em velocidades mais baixas de movimentação

haveria tempo para que ocorresse uma alteração química da superfície do fio, diminuindo assim os níveis de atrito, fato que não ocorreria nos testes em velocidades mais altas, onde não haveria tempo dessa reação ocorrer. Isso é importante, pois ao se extrapolar os dados deste experimento laboratorial, que utilizou uma velocidade mais alta (100 mm/minuto) para uma situação de movimento de deslizamento real, na prática clínica, onde a velocidade do movimento dentário situa-se próxima da velocidade mais baixa usada no teste de KUSY; WHITLEY²², o desempenho real da liga de beta-titânio poderia não estar sendo considerado adequadamente, já que em velocidades muito baixas este tipo de fio apresentou menores níveis de atrito.

6.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

6.2.1 INFLUÊNCIA DO TIPO DE BRÁQUETE SOBRE O ATRITO

6.2.1.1 Angulação de 0°

Avaliando-se os bráquetes posicionados a 0°, ou seja, sem nenhuma angulação entre as canaletas, alinhados no sentido horizontal e vertical, conforme ilustrado na figura 6.1 e na tabela 5.2, os menores índices de atrito foram atingidos pelos bráquetes autoligados, nos fios de calibre 0.016", não havendo diferença estatisticamente significativa entre eles. Neste calibre, os bráquetes Ormco e Morelli, apresentaram os níveis de atrito mais altos, porém sem diferença estatisticamente significativa entre eles, em todos os tipos de fios.

Uma situação parecida pôde ser observado em todos os fios de calibre 0.017" x 0.025", onde os bráquetes Opal e Damon 2 apresentaram os menores índices de atrito, sem diferença estatisticamente significativa entre eles. Níveis intermediários de atrito ocorreram nos bráquetes Ormco e Morelli, em todos os tipos de fios 0.017" x 0.025", também sem diferença estatisticamente significativa, com exceção do bráquete Morelli, cujo nível intermediário encontrado foi um pouco maior. O bráquete Ormco, no

fio de beta-titânio, apresentou o nível de atrito mais alto, porém sem diferença estatisticamente significativa.

Nos fios de calibre 0.019" x 0.025", o bráquete Opal apresentou os menores índices de atrito. Níveis intermediários de atrito, sem diferença estatisticamente significativa entre eles, encontram-se nos bráquetes Damon 2, Ormco e Morelli, no fio de aço, Damon 2 no fio de Ni-Ti, e Damon 2 e Morelli no fio de beta-titânio. O nível de atrito mais alto ocorreu no bráquete Ormco, no fio de beta-titânio. É interessante salientar que o bráquete Morelli, no fio de Ni-Ti 0.019" x 0.025", teve um comportamento estatisticamente semelhante aos bráquetes com os níveis de atrito intermediário entretanto também semelhante aos bráquetes Ormco.

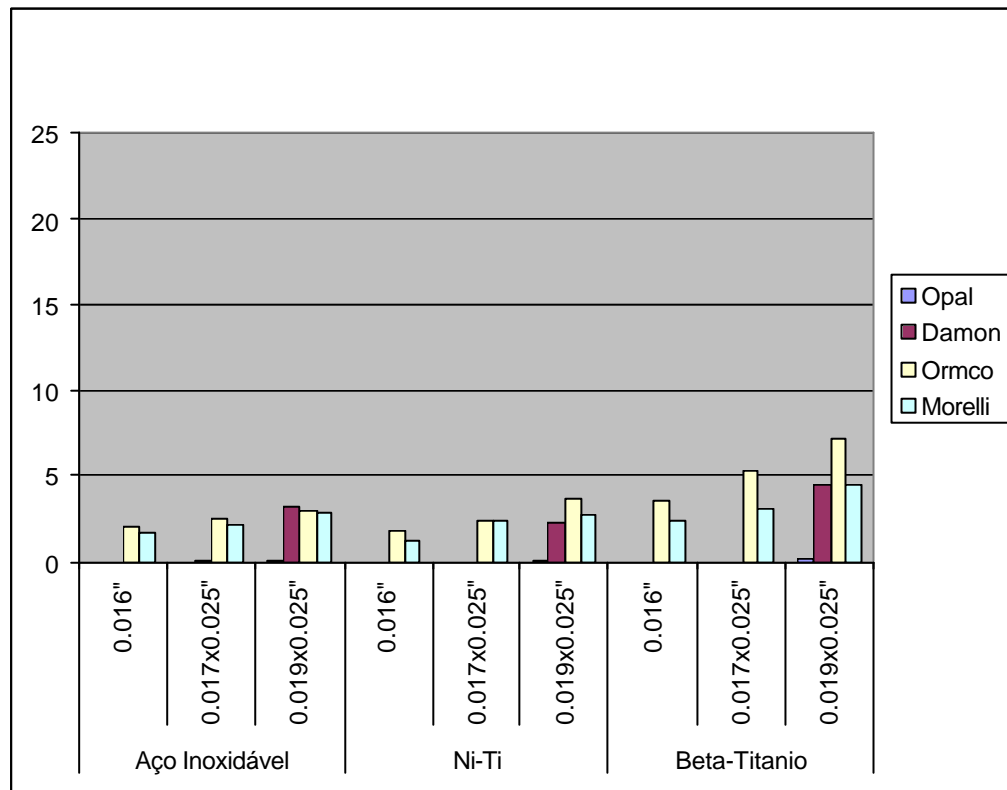


FIGURA 6.1 – Atrito estático máximo na angulação de 0°

Estes resultados são similares aos encontrados nas pesquisas de FRANK; NIKOLAI¹¹; BERGER⁵; SIMS et al.³⁸; VOUDOURIS⁴⁷; READWARD; JONES, DAVIES³²; THOMAS; SHERRIFF; BIRNIE⁴¹; PIZZONI, RAVNHOLT, MELSEN³¹; CACCIAFFESTA et al.⁸; KHAMBAY; MILLET; McHUGH²¹; TECCO et al.⁴⁰, onde os bráquetes autoligados

apresentaram um atrito significativamente menor do que os bráquetes convencionais, quando posicionados em uma angulação de 0°, principalmente nos fios de menor calibre. Esse menor atrito dos bráquetes autoligados se deveu à ausência da pressão da amarração, já que os mesmos contam com um sistema de fechamento de tampa, diferentemente dos bráquetes convencionais, onde o sistema de amarração, seja uma ligadura elástica ou metálica, é o principal fator gerador do atrito neste tipo de sistema. Em todos esses trabalhos, houve um aumento do atrito com o aumento do calibre dos fios, sendo que esse atrito se tornou mais intenso com os fios de calibre 0.019" x 0.025" e 0.021" x 0.025", que são os fios mais espessos quando se utiliza canaletas 0.022". Os autores atribuem esse aumento de atrito à diminuição da folga existente entre o fio e a canaleta, o que provoca um aumento da pressão de amarração dos bráquetes convencionais ou aumento da pressão dos dispositivos de fechamento dos bráquetes autoligados.

Também ficou claro que materiais diferentes apresentam coeficientes de atrito diferentes, devido à configuração da superfície dos materiais, fato evidente neste trabalho e similar aos achados de outros pesquisadores, onde os fios de beta-titânio apresentaram os maiores índices de atrito^{3,8,26,40}. Os resultados deste estudo discordaram dos encontrados por REDLICH et al³³ (2003), onde o bráquete autoligado testado, o Speed, apresentou atrito maior do que os bráquetes convencionais, em todos os fios utilizados. O autor explicou que levando em consideração que o tipo de bráquete testado tem um mecanismo de fechamento ativo e isso pressiona o fio contra a canaleta, há aumento da pressão de fechamento, causando assim uma maior força de atrito entre os fios utilizados e o bráquete.

Os níveis de atrito aumentados que foram encontrados nos bráquetes Damon 2, nos fios de calibre 0.019" x 0.025" talvez possam ser atribuídos à metodologia empregada, onde foram utilizados dois bráquetes na montagem do experimento, diferentemente da maioria dos outros trabalhos estudados, onde os experimentos utilizaram apenas um bráquete na avaliação. Achados similares foram encontrados por TECCO et al.⁴⁰, que utilizaram uma montagem de 10 bráquetes e também verificaram um aumento do atrito, nos bráquetes Damon 2, nos fios do mesmo calibre. Também é possível concluir que a profundidade da canaleta dos bráquetes

tenha sido um fator que influenciou os resultados, já que a canaleta do bráquete Damon 2 tem uma profundidade de 0,027” e a canaleta do bráquete Opal 0,028”. Essa diferença leva a uma diminuição da folga entre fio e canaleta no bráquete Damon 2, promovendo assim maior atrito neste bráquete, quando são utilizados fios de maior calibre.

6.2.1.2 Angulação de primeira ordem em 3°

Avaliando-se os bráquetes posicionados numa angulação de primeira ordem em 3°, de acordo com a ilustração 6.2 e tabela 5.3, os menores índices de atrito foram atingidos pelos bráquetes autoligados Opal e Damon 2, em todos os tipos fios de calibre 0.016”, não havendo diferença estatisticamente significativa entre eles. Os bráquetes Ormco e Morelli apresentaram os níveis de atrito mais altos, porém sem diferença estatisticamente significativa entre eles, em todos os tipos de fios.

Nos fios de calibre 0.017” x 0.025”, o bráquete Opal apresentou os menores índices de atrito, em todos os tipos de fios. Num nível de atrito intermediário, sem diferença estatisticamente significativa entre eles, encontram-se os bráquetes, Ormco e Morelli, também em todos os tipos de fios. Num nível de atrito mais alto, encontra-se o bráquete Damon 2, sem diferença estatisticamente significarte, em todos os tipos de fios neste calibre.

Nos fios de calibre 0.019” x 0.025”, repete-se a mesma situação, com o bráquete Opal apresentando os menores índices de atrito, seguido pelos bráquetes Ormco e Morelli, que apresentaram um atrito intermediário, seguidos do bráquete Damon 2, que apresentou os maiores índices.

É importante salientar que o bráquete Damon 2 apresentou os maiores índices de atrito de todo o teste nesta angulação de primeira ordem, nos fios de beta-titânio 0.017” x 0.025” e 0.019” x 0.025”.

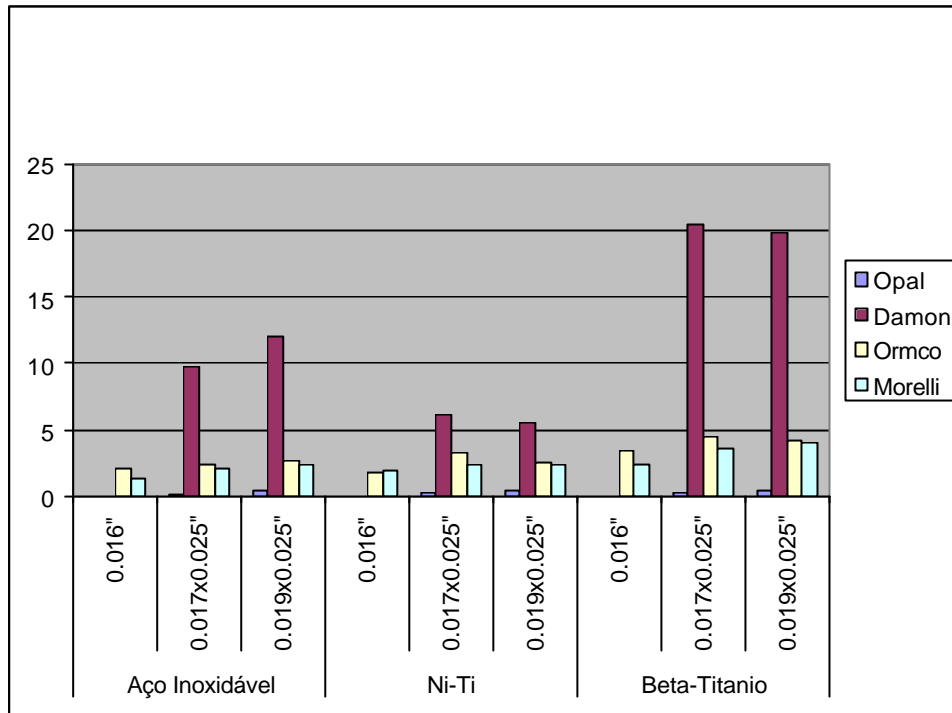


FIGURA 6.2 – Atrito estático máximo na angulação de 1ª ordem em 3º

Os achados nesta angulação podem ser comparados parcialmente ao trabalho de BEDNAR ; GRUENDEMAN⁴, que avaliaram o grau de atrito de um bráquete sob efeito de rotação (dobra de 1ª ordem), onde o aumento do grau de rotação aumentou o atrito. Entretanto, os autores efetuaram apenas uma avaliação com o fio de aço inoxidável 0.014". A metodologia deste trabalho foi diferente, pois criou uma situação de dobra de 1ª ordem, com um desalinhamento de 3º dos bráquetes em relação a um plano horizontal hipotético. Conforme verificado na revisão de literatura, este tipo de metodologia não foi empregada por nenhum dos trabalhos publicados.

Pode-se também utilizar como parâmetro de comparação os trabalhos efetuados por HENAO; KUSY^{18,19} onde foram montados bráquetes utilizando *typodonts* com diversos graus de desalinhamento dentário nos diferentes quadrantes. Apesar dos autores terem considerado diferenças de angulação tanto de 1ª como de 2ª ordem simultaneamente, observaram que os bráquetes autoligados produziam menor atrito com o uso de fios de menor calibre e nos quadrantes com pouco desalinhamento. Ao utilizarem fios de maior calibre nos quadrantes mais desalinhados, o atrito foi maior do que nos bráquetes convencionais, similarmente ao que foi observado neste trabalho.

Deve-se salientar o atrito muito alto encontrado no bráquete Damon 2, nesta situação de angulação, se deve provavelmente à metodologia empregada, onde o uso de dois bráquetes em posição de desalinhamento provoca um contato de grande intensidade do fio com a tampa rígida do bráquete, ocorrendo uma situação de *binding* ou *notching*, conforme relataram vários autores^{2,23,24,34,35}. O aumento do atrito, devido à ocorrência do *binding*, pode ser explicado como um aumento da resistência ao deslizamento, devido ao contato angular das paredes do bráquete em relação ao fio ou à ocorrência do *notching* que seria um entalhe causado no fio pelo canto do bráquete, numa situação de inclinação exagerada, provocando um travamento no movimento do bráquete. A menor profundidade da canaleta do bráquete Damon, de 0.027", pode também ter influenciado neste aumento de atrito, quando foram utilizados fios mais espessos, já que a folga entre fio e bráquete acaba se tornando menor, nas situações sem e com angulação.

Entre todos os bráquetes testados, o autoligado Opal foi o que apresentou, indiscutivelmente, os menores índices de atrito. Por ser um material lançado recentemente, ainda não existem trabalhos publicados avaliando-o. O único trabalho com bráquetes autoligados estéticos foi executado por CACCIAFESTA et al.⁸, em 2003, porém utilizando o bráquete *Oyster*, tendo este apresentado um desempenho pior, quando comparado com o bráquete Damon 2, ao contrário dos achados deste trabalho. Talvez esse pior desempenho do bráquete *Oyster* se deva ao seu sistema de fechamento de dobradiça, confeccionado com uma tampa de plástico rígido. De forma contrastante, encontram-se os resultados de BAZAKIDOU et al.² ao compararem vários tipos de bráquetes convencionais de policarbonato reforçado e policarbonato com canaletas metálicas com bráquetes metálicos e de cerâmica. Segundo esses autores, os bráquetes de policarbonato reforçado, sem canaletas de metal, foram os que apresentaram o melhor desempenho em relação ao atrito, similarmente ao ocorrido neste trabalho.

Provavelmente, a natureza do material que compõe o bráquete Opal tenha contribuído para seu melhor desempenho neste teste, já que o material plástico, utilizado tanto no corpo como na tampa do bráquete pode se deformar e com isso causar uma pressão menor entre os fios e as respectivas canaletas, diminuindo a

ocorrência de possíveis situações de *binding* e *notching*, que são muito evidentes nos bráquetes metálicos.

6.2.1.3 Angulação de segunda ordem em 3°

Avaliando-se os bráquetes posicionados numa angulação de segunda ordem em 3°, conforme se vê na figura 6.3 e na tabela 5.4, os menores índices de atrito foram atingidos pelos bráquetes autoligados Opal e Damon 2, em todos os tipos de fios no calibre 0.016”, não havendo diferença estatisticamente significativa entre eles. Os bráquetes Ormco e Morelli apresentaram um atrito maior, sem diferença estatística entre eles, também em todos os tipos de fios. O bráquete Ormco, no fio beta-titânio, foi o que apresentou o maior nível de atrito.

Nos fios 0.017” x 0.025”, os menores índices de atrito foram alcançados pelo bráquete Opal, em todos os tipos de fios e pelo bráquete Damon 2, no fio de Ni-Ti, sem diferenças estatisticamente significantes. Num nível de atrito intermediário, encontram-se os bráquetes Damon 2, Morelli e Ormco no fio de aço, Ormco e Morelli no fio de NiTi e Damon 2 e Morelli, no fio de beta-titânio, não havendo diferença estatística entre eles. O nível de atrito mais alto neste calibre foi demonstrado pelo bráquete Ormco em conjunto com o fio de beta-titânio.

Nos fios 0.019” x 0.025”, os níveis de atrito mais baixos foram demonstrados pelo bráquete Opal, em todos os tipos de fios e pelo bráquete Ormco, no fio de aço. Um nível de atrito intermediário foi demonstrado pelos bráquetes Morelli, nos fios de aço e Ormco e Morelli, no fio de beta-titânio, não havendo diferença estatisticamente significativa entre eles. O nível atrito mais alto foi encontrado no bráquete Damon 2, nos fios de aço e beta-titânio.

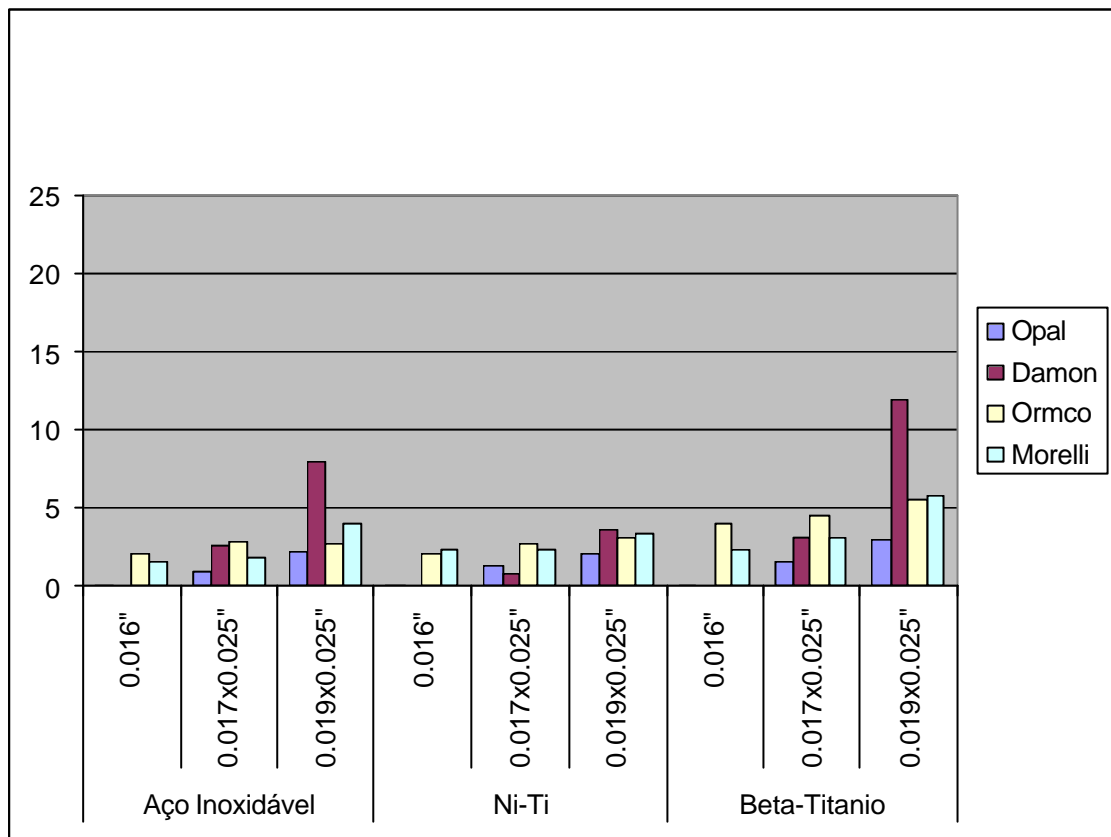


FIGURA 6.3 – Atrito estático máximo na angulação de 2ª ordem em 3°

Estes achados são similares aos encontrados por FRANK; NIKOLAI¹¹ SIMS; WATERS; BIRNIE³⁸; READWARD; JONES, DAVIES³²; PIZZONI, RAVNHOLT, MELSEN³¹; LOFTUS et al²⁶; THORSTENSON; KUSY⁴²; THORSTENSON; KUSY⁴³; THORSTENSON; KUSY⁴⁴; REDLICH et al³³; HENAO; KUSY^{18,19}; onde o aumento da angulação de 2ª ordem provocou um aumento dos níveis de atrito nos bráquetes autoligados, da mesma maneira que ocorreu com o bráquete Damon 2 neste experimento. Quanto ao bráquete Opal, da mesma forma como verificado pelos autores

citados acima, houve também um aumento significativo dos níveis de atrito, quando comparado com os valores obtidos no teste dos bráquetes sem angulação. Também é interessante observar que, neste teste, com a presença da angulação de 2ª ordem, os bráquetes Damon 2 e Opal apresentaram um desempenho parecido nos fios de calibres 0.016" e no fio de Ni-Ti 0.017" x 0.025".

O aumento do atrito frente à angulações de 2ª ordem é bem estudada nos trabalhos que usam bráquetes com este tipo de inclinação^{2,4,7,10,11,18,19,26,27,31-33,39,42-46}. Nesses, com a utilização de bráquetes convencionais ou autoligados, observou-se um aumento dos níveis de atrito quando ocorreu um aumento da angulação de 2ª ordem, explicado pela ocorrência do fenômeno *binding*. A inclinação de segunda ordem elimina a folgas existente entre o fio e o bráquete, provocando aumento do atrito conforme se aumenta o calibre dos fios. O fenômeno denominado *notching*, também pode ocorrer neste caso, já que o aumento da angulação pode ser tão acentuado que os cantos das aletas dos bráquetes podem causar um entalhe no fio, provocando um travamento na movimentação.

Levando-se em consideração os fenômenos anteriormente citados, é possível que o melhor desempenho do bráquete Opal tenha ocorrido devido ao tipo de material empregado, um plástico reforçado, que devido à sua flexibilidade diferenciada em relação ao bráquete de metal, possa ter sofrido algum tipo de deflexão, quando em contato com os fios numa posição angulada. Desta forma, os fenômenos *binding* e *notching* não terem ocorrido tão acentuadamente, devido à capacidade deste material se alterar, em função de sua composição plástica. De forma análoga, a maior flexibilidade dos fios de Ni-Ti faz com que estes apresentem um menor atrito que os fios de aço, já que a deformação decorrente da maior flexibilidade diminui o ângulo entre o fio e bráquete, fazendo que a pressão de contato seja menor^{2,39}.

6.2.2 INFLUÊNCIA DA ANGULAÇÃO NOS DIFERENTES TIPOS DE FIOS E NA SECÇÃO TRANSVERSAL

6.2.2.1 Fio de aço

Avaliando-se a influência da angulação produzida entre os bráquetes e o fio de aço no calibre 0.016", conforme os dados demonstrados na figura 6.4 e apresentados na tabela 5.5, todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatisticamente significativa em nenhum deles, porém os bráquetes autoligados apresentaram um desempenho muito melhor, com um nível de atrito muito baixo, correspondendo à um atrito em torno de 1% do valor alcançado pelos bráquetes convencionais.

Quando se avalia a influência da angulação no fio de aço calibre 0.017" x 0.025", todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatística significativa entre eles, com exceção do bráquete Damon 2, na angulação de 1ª ordem, que apresentou o maior atrito para este calibre e na angulação de 2ª ordem, que apresentou um desempenho intermediário, porém com diferença estatisticamente significativa entre o grupo de menor e maior atrito.

Avaliando-se a influência da angulação no fio de aço 0.019" x 0.025", observa-se que todos os bráquetes apresentaram um comportamento similar nas angulações de 0°, não havendo diferença estatística entre eles. Isto também foi observado na angulação de 1ª ordem nos bráquetes Opal, Ormco e Morelli e na angulação de 2ª ordem no bráquete Ormco. Níveis de atrito intermediários, sem diferença estatística entre eles, foram observados nas angulações de 2ª ordem nos bráquetes Opal, Damon 2 e Morelli. O nível de atrito mais alto foi observado no bráquete Damon 2, na angulação de 1ª ordem, com diferença estatística em relação aos anteriores. Neste calibre, as diferenças entre bráquetes autoligados e convencionais não são tão acentuadas, exceto para o bráquete Damon 2, o qual apresentou um atrito muito acentuado, nas situações de angulação e o bráquete Opal apresenta um atrito similar aos convencionais na angulação de 2ª ordem.

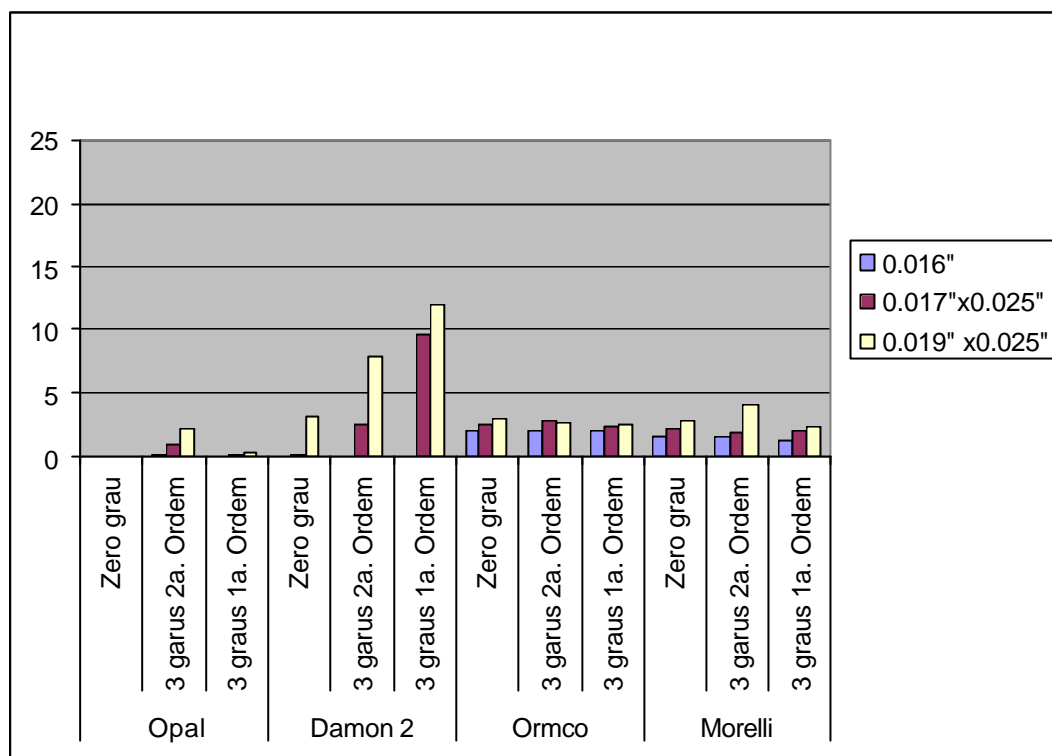


FIGURA 6.4 – Influência da angulação no fio de aço inoxidável

Portanto, em relação aos fios de aço inoxidável, as variações na angulação influenciaram o comportamento dos bráquetes autoligados, com fios de maior espessura. Tal fato foi similar aos dados verificados nos trabalhos de FRANK; NIKOLAI¹¹; SIMS; WATERS; BIRNIE³⁸; READ-WARD; JONES, DAVIES³²; PIZZONI, RAVNHOLT, MELSEN³¹; THORSTENSON; KUSY^{42,43,44}; SMITH, ROUSSOW; WATSON³⁹; HENAO; KUSY^{8,19}, onde o aumento do calibre do fio provocou um aumento do atrito, nas situações de maior angulação. Isto provavelmente seja causado pela diminuição da folga existente entre o fio e as paredes internas dos bráquetes.

Nos bráquetes autoligados este fenômeno se torna mais evidente devido à própria natureza do sistema, que apresenta uma tampa de fechamento rígida, que não cede, como no caso das ligaduras elásticas, onde esta propriedade é inerente ao material. O bráquete Damon 2 deixou evidente esta ocorrência neste experimento,

onde houve um atrito pronunciado nos fios de maior calibre e mais rígidos, provavelmente em função de sua tampa metálica rígida e também da menor profundidade de sua canaleta, 0,027", comparada com o bráquete Opal, que possui a tampa de plástico flexível e uma canaleta de 0.028" de profundidade. Este efeito de maior atrito foi verificado inclusive nos testes com os bráquetes posicionados com angulação de 0°.

Além disto, observou-se que o fio de aço apresentou um nível de atrito maior, comparado com ao fio de Ni-Ti, nas situações de angulação tanto de primeira como de segunda ordem, da mesma maneira como verificado em outros trabalhos^{1,38,44}. Alguns autores relataram que o maior atrito é devido à maior rigidez do aço, que não sofre uma deflexão como o fio de Ni-Ti e com isso o ângulo formado entre o fio e o bráquete não se altera, ocasionando uma situação de *binding* ou *notching*, que seriam os fatores principais na geração do atrito nestas situações^{1,38,44}.

6.2.2.2 Fio de Ni-Ti

Avaliando-se a influência da angulação produzida entre os bráquetes e o fio de Ni-Ti no calibre 0.016", conforme os dados demonstrados na figura 6.5 e apresentados na tabela 5.6, todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatisticamente significativa em nenhum deles, porém os bráquetes autoligados apresentaram um menor atrito quando comparados com os bráquetes convencionais.

Quanto à influência da angulação no fio de Ni-Ti calibre 0.017" x 0.025", todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatística significativa entre eles, com exceção dos bráquetes Opal na angulação de 2ª ordem e Damon 2, na angulação de 1ª ordem, que apresentaram o maior atrito para este calibre. O bráquete Opal, na angulação de 1ª ordem apresentou comportamento similar aos dois grupos. De uma forma geral, os bráquetes

convencionais apresentaram um atrito mais alto que os bráquetes autoligados, com exceção do Damon 2, na angulação de 1ª ordem.

Avaliando-se a influência da angulação no fio de Ni-Ti 0.019" x 0.025", todos os bráquetes apresentaram um comportamento similar, sem diferença estatisticamente significativa entre eles, com exceção dos bráquetes Opal, nas angulações de 1ª e 2ª ordem e Damon 2, na angulação de 2ª ordem, que foram similares entre si e do bráquete Damon 2, na angulação de 1ª ordem, que apresentou um comportamento diferente dos dois anteriores, com o maior índice de atrito para este calibre de fio. Neste calibre, pode-se observar que a vantagem dos bráquetes autoligados não é tão marcante, havendo um desempenho similar aos bráquetes convencionais, principalmente para o bráquete Damon 2, em todas as angulações e Opal, na angulação de 2ª ordem. O maior nível de atrito foi encontrado no bráquete Damon 2 nos fios 0.017" x 0.025" e 0.019" x 0.025".

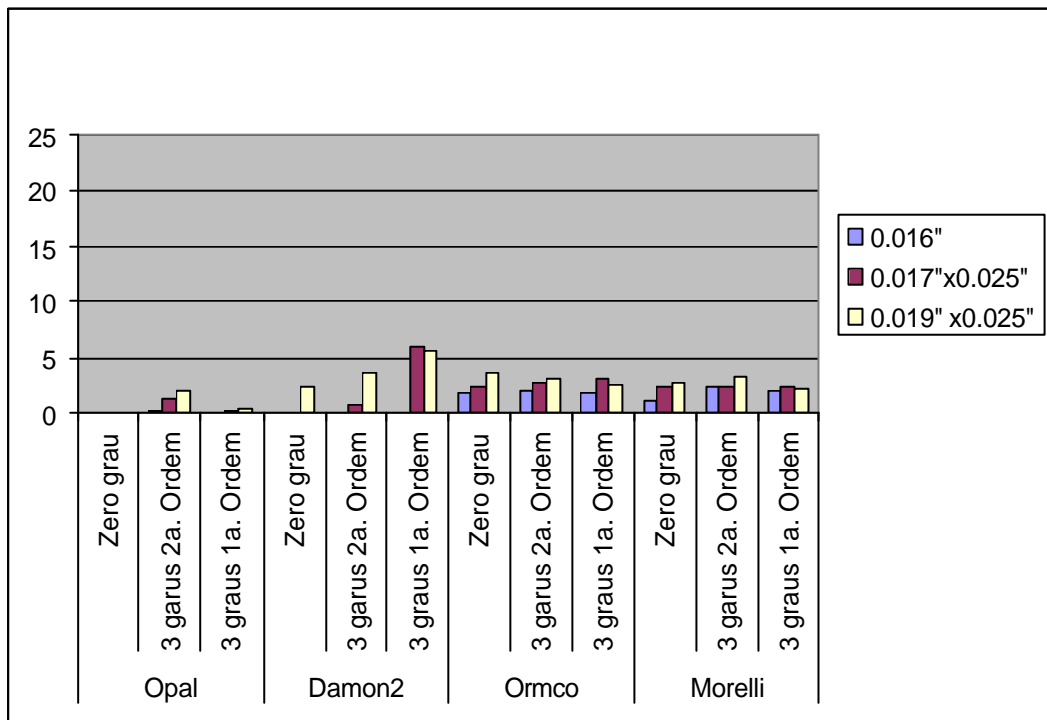


FIGURA 6.5 – Influência da angulação no fio de Ni-Ti

A influência da angulação em relação aos fios de Ni-Ti foi verificada nos bráquetes autoligados, nos calibres maiores, similar aos trabalhos de FRANK; NIKOLA¹¹; SIMS; WATERS; BIRNIE³⁸; READ-WARD; JONES, DAVIES³²; PIZZONI, RAVNHOLT, MELSEN³¹; THORSTENSON; KUSY (2001)^{42,43,44}; SMITH, ROUSSOW; WATSON³⁹; HENAO; KUSY (2004)^{18,19} onde o aumento do calibre do fio ou a ocorrência de angulação também provocou aumento do atrito. Neste experimento foi observado que o aumento do atrito no fio de Ni-Ti foi bem menor do que no fio de aço, o que está em concordância com SMITH, ROUSSOW; WATSON³⁹ e ARTICOLO; KUSY⁴, os quais afirmaram que o fio de Ni-Ti apresenta menor atrito nas situações onde existe angulação, devido à sua maior flexibilidade, deformando-se e fazendo com que o *binding* não se torne tão pronunciado.

6.2.2.3 Fio de beta-titânio

Avaliando-se a influência da angulação produzida entre os bráquetes e o fio de beta-titânio no calibre 0.016", conforme os dados demonstrados na figura 6.6 e e apresentados na tabela 5.7, todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatisticamente significativa em nenhum deles, porém os bráquetes autoligados apresentaram um menor atrito quando comparados com os bráquetes convencionais.

Quando se avalia a influência da angulação no fio de beta-titânio de calibre 0.017" x 0.025", todos os bráquetes tiveram um comportamento similar, não havendo diferença estatística significativa entre eles, com exceção dos bráquetes Opal e Damon 2, na angulação de 2ª ordem, que foram similares entre si. O bráquete Damon 2, na angulação de 1ª ordem, apresentou o maior atrito e um comportamento diferente dos anteriores. O maior atrito observado no bráquete Damon 2 pode ser devido ao tamanho de sua canaleta, que possui 0.027" de profundidade, o que poderia proporcionar uma menor folga entre fio e bráquete, quando a tampa for fechada.

Os bráquetes convencionais apresentaram um atrito mais alto que os bráquetes autoligados, nas situações de 0°, porém nas situações de angulação, o comportamento foi similar.

Avaliando-se a influência da angulação no fio de beta-titânio 0.019" x 0.025", os resultados foram peculiares, com todos os bráquetes apresentando um comportamento similar na angulação de 0°, sem diferença estatística significativa entre eles. Nas angulações de 2ª ordem, os bráquetes apresentaram um comportamento sem diferença estatisticamente significativa entre si mas diferente da angulação de 0°. Nas angulações de 1ª ordem pode-se observar um terceiro grupo, diferente dos dois anteriores porém sem diferenças estatisticamente significantes entre si, com exceção do bráquete Opal, onde a angulação de 1ª ordem foi similar ao grupo de angulação de 0°.

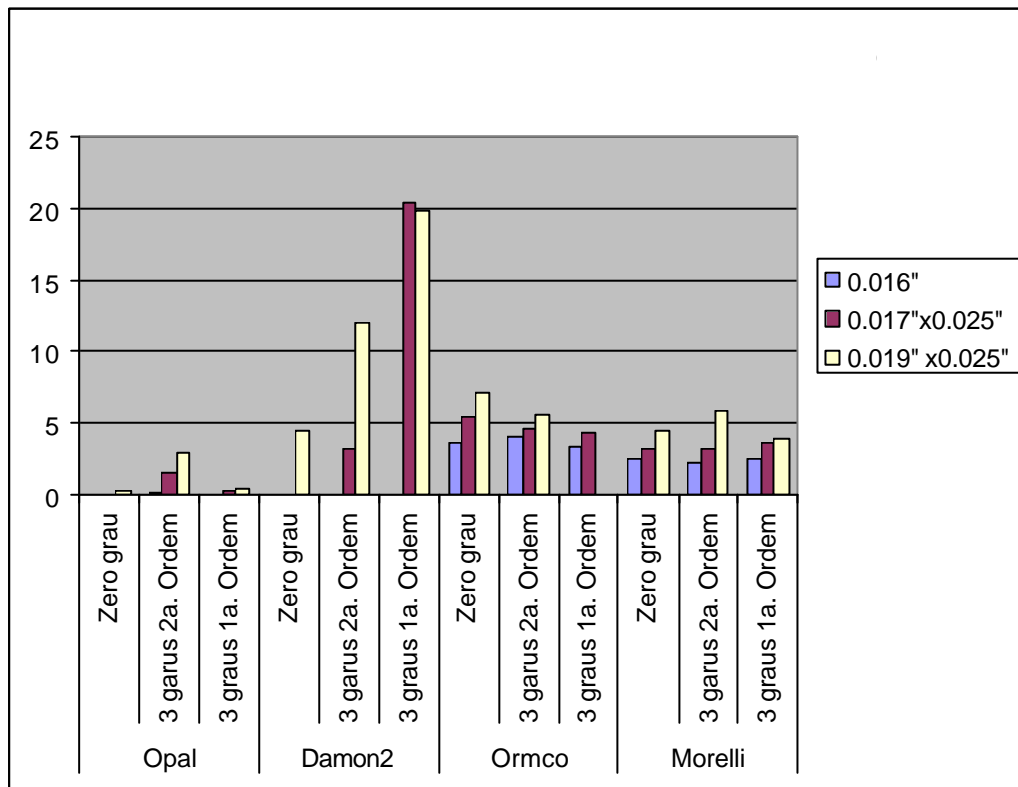


FIGURA 6.6 – Influência da angulação no fio de beta-titânio

A influência da angulação em relação aos fios de beta-titânio foi verificada nos bráquetes autoligados, nos calibres e nos bráquetes convencionais, independente do calibre. Estes achados foram similares aos de TIDY⁴⁵; DRESCHER, BOURAEL; SCHUMACHER⁹; TSELEPIS; BROCKHURST; WEST⁴⁶; PIZZONI, RAVNHOLT, MELSEN³¹; O'REILLY et al.³⁰; ARTICOLO; KUSY¹; LOFTUS et al.²⁶; CACCIAFESTA et al.⁷; MENDES; ROUSSOW²⁸; KHAMBAY; MILLET; MCHUGH²¹ e TECCO et al.⁴⁰, que encontraram os maiores índices de atrito com o uso dos fios de beta-titânio e em situações de aumento de angulação. Segundo SMITH, ROUSSOW; WATSON³⁹, esse comportamento do fio de beta-titânio pode ser atribuído à superfície mais áspera e à afinidade química desse tipo de material, que pode levar a um fenômeno conhecido como "solda a frio", quando em contato com bráquetes de aço, o que explicaria o atrito pronunciado nos bráquetes metálicos, sejam autoligados ou convencionais, além das situações anteriormente discutidas, em relação aos fenômenos *binding* e *notching*. Também deve ser levado em consideração que o maior atrito encontrado com o uso do bráquete Damon 2 neste experimento talvez possa ser atribuído à menor profundidade de sua canaleta, que possui 0.027" e ao seu dispositivo de fechamento, constituído de uma tampa deslizante rígida. Essas duas situações podem ter contribuído para o desempenho do bráquete, já que a força contato das superfícies aumentaria muito, nos fios de maior diâmetro e nas situações de angulação entre fio e bráquete.

6.3 CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS

Quando se efetua um trabalho laboratorial como este, a pergunta recorrente é como os dados coletados podem ser utilizados para um melhor entendimento das situações clínicas comumente encontradas pelos ortodontistas.

Um dos objetivos deste trabalho foi avaliar diferentes materiais, como bráquetes, utilizados na clínica, principalmente com a intenção de se comparar o desempenho dos novos bráquetes autoligados, que se encontram disponíveis atualmente, com os tradicionais bráquetes metálicos. Outro objetivo foi testar três tipos de fios: aço inoxidável, Ni-Ti e beta-titânio, em três diferentes calibres, que também são utilizados freqüentemente. O terceiro objetivo foi testar condições de posicionamento entre os bráquetes e os fios, que tentassem simular as situações de posicionamento encontradas durante o tratamento ortodôntico: bráquetes posicionados a 0°, como ocorre após a etapa de alinhamento e nivelamento e situações onde os bráquetes apresentassem desalinhamento de 1ª ordem e de 2ª ordem, que ocorrem normalmente quando os dentes começam a se movimentar e acabam se inclinando devido à aplicação das forças fora do centro de resistência do dente, ou quando não estão completamente alinhados e nivelados.

Segundo nossos resultados, como pode ser observado na tabela 5.2 e gráfico 6.1, os menores índices de atrito foram obtidos com os fios de aço inoxidável 0.016", em conjunto com os bráquetes autoligados Opal e Damon 2, onde o atrito foi próximo ao zero. Esse fio também provocou os menores índices de atrito nos bráquetes convencionais, porém com valores significativamente mais altos do que os bráquetes autoligados. Isso está de acordo com a afirmação de diversos autores^{1,18,19,23,24,25,31,42,43,44}, onde foi verificado que o fio de aço de menor calibre produz os níveis de atrito mais baixos, tanto para os bráquetes autoligados como para os bráquetes convencionais. Esse menor atrito, como já citado anteriormente, é devido à folga existente entre o fio e a parede do bráquete, que faz com que o deslize possa ocorrer com maior facilidade; porém este calibre de fio proporciona uma folga que não permite um controle adequado da movimentação, já que em situações clínicas reais, o tracionamento dentário fora do centro de resistência irá provocar uma inclinação dentária excessiva, que pode comprometer o resultado do tratamento^{24,25,29,31,34}. A fim de se evitar a ocorrência de inclinações indesejáveis durante a movimentação, de acordo com os resultados obtidos neste experimento, uma alternativa seria a utilização de fios 0.017"x 0.025", que permitiria um movimento ainda com pouco atrito e maior controle²⁵.

A grande diferença entre os níveis de atrito nos bráquetes autoligados e convencionais se deve à força do sistema de amarração¹⁴, que pressiona o fio contra o fundo da canaleta do bráquete convencional e que não existe nestes tipos de bráquetes autoligados testados, com o uso de fios de menor calibre, pois seu mecanismo de fechamento é diferente e o bráquete, após ser fechado se transforma praticamente em um tubo passivo^{9,17}. Devido à essa característica, o atrito clássico, ocasionado pelo sistema de amarração, não se manifesta e os fios estarão com bastante folga em relação às paredes dos bráquetes, fazendo com que o movimento ocorra praticamente sem nenhuma interferência. Em função disso, quando se quiser um movimento de deslizamento do bráquete guiado por um fio, em situações de nivelamento completo, as melhores opções seriam o uso de bráquetes autoligados. É importante salientar que neste experimento o bráquete Opal, nas situações de angulação 0, apresentou baixos índices de atrito mesmo com o uso de fios 0.019" x 0.025". Isso indica que esse bráquete pode apresentar um ótimo desempenho nas mecânicas de deslizamento, mantendo um alto nível de controle. É necessário, entretanto, que mais estudos sejam efetuados em relação ao bráquete Opal, pois sua construção, feita de plástico, não permite concluir que o material tenha o mesmo desempenho, em relação à expressão de torques e tenha a mesma durabilidade dos bráquetes metálicos. Por sua vez, de acordo com os resultados deste trabalho, deve-se evitar os movimentos de deslizamento com fios 0.019" x 0.025" quando se utiliza o bráquete Damon 2.

De forma resumida, se obtivermos dentes alinhados e nivelados, que não produzam um ângulo de contato entre o fio e o bráquete, os melhores resultados de deslizamento serão obtidos pelos bráquetes autoligados. Ao contrário, se os dentes não estiverem alinhados ou nivelados adequadamente ou se os dentes sofrerem inclinações acentuadas devido ao movimento, a vantagem dos bráquetes autoligados em relação aos convencionais deixa de existir^{24,25}.

Quando ocorre uma angulação entre o fio e o bráquete, a situação muda bastante, da mesma forma como observado por outros autores^{1,23,24,25}. De forma geral, o desempenho dos bráquetes autoligados não é tão bom quando comparado com os bráquetes convencionais. Nos fios de calibre 0.016", em todas as ligas, o

desempenho dos bráquetes autoligados ainda é melhor do que os convencionais porque a folga existente entre o fio e o bráquete não provoca um ângulo de contato acentuado e devido a isso, o *binding* não se manifesta²⁵. Esta diferença de níveis de atrito pode ser explicada pela ausência da força de amarração, que está presente nos bráquetes convencionais e ausente nos bráquetes autoligados, principalmente nos fios de menor calibre. Em situações de angulação, conforme o calibre do fio aumentou, também aumentou o atrito. Nestas situações, tanto o bráquete Opal como o bráquete Damon 2 foram equivalentes aos bráquetes convencionais. Na angulação de 1ª ordem, com fios mais espessos e rígidos, como o aço e o beta-titânio, o bráquete Damon 2 apresentou níveis de atrito extremamente acentuados, porque a rigidez destes fios e a rugosidade maior dos fios de beta-titânio acaba provocando um aumento de atrito, pois existirá um ângulo de contato forte entre o bráquete e os fios e estes não sofrerão deformação.

Os resultados permitiram concluir que, nas situações de angulação, o uso de fios mais flexíveis, como os de Ni-Ti, pode ser vantajoso, quando se utiliza bráquetes autoligados e se necessita de movimentos de deslizamento para o fechamento de pequenos espaços, já que a deflexão sofrida por esses fios diminui a ocorrência do *binding*, como afirmado por outros autores^{18,19,25,44}. Já em relação aos bráquetes convencionais esta vantagem não foi observada.

Conclusão

7. Conclusão

Segundo a metodologia empregada e tendo em vista os resultados obtidos, pode-se afirmar que:

7.1- nas situações onde não existiu angulação entre os bráquetes e os fios, os bráquetes autoligados, comparados aos convencionais, apresentaram um atrito estático significativamente mais baixo, ao se utilizar fios de calibres menores. Entretanto, com fios de maior calibre o bráquete autoligado metálico Damon 2 apresentou maior atrito, semelhante aos bráquetes convencionais. Além disto, o braquete autoligado estético Opal apresentou os mais baixos índices de atrito em todos os tipos de fios;

7.2- em situações de angulação entre os bráquetes e os fios, os bráquetes autoligados apresentaram menor atrito estático nos fios de calibre 0.016"; porém, conforme o calibre do fio aumentou, ocorreu aumento do nível de atrito estático. Nestas situações, tanto o bráquete autoligado estético Opal como o autoligado metálico Damon 2 foram equivalentes aos bráquetes convencionais. Na situação de angulação de 1ª e de 2ª ordem, com fios mais espessos e rígidos, como o aço e o beta-titânio, o bráquete autoligado metálico Damon 2 apresentou níveis de atrito maiores de que os bráquetes convencionais;

7.3- em relação às diferentes composições das ligas metálicas dos fios ortodônticos, os menores níveis de atrito ocorreram, em todos os bráquetes em situações sem angulação, com o uso dos fios de aço, seguidos pelos fios de Ni-Ti e de beta-titânio. Nas situações onde existiu angulação com a utilização dos bráquetes autoligados, principalmente o autoligado metálico Damon 2, os menores índices de atrito ocorreram com os fios de Ni-Ti, seguidos pelos fios de aço e de beta-titânio. Diferentemente, com os bráquetes convencionais nas situações de angulação, os menores índices de atrito foram obtidos com o uso dos fios de aço, seguidos pelos fios de Ni-Ti e de beta-titânio;

7.4- em relação ao calibre e à secção transversal dos fios empregados, houve um aumento dos níveis de atrito de acordo com o aumento dos calibres dos fios, em todas as situações de angulação, para todos os tipos de bráquetes.

Referências

REFERÊNCIAS *

1. ARTICOLA, L.C.; KUSY, R.P. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliance. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.115, n.1, p.39-51, Jan. 1999.
2. BAZAKIDOU, E. et al. Evaluaton of frictional resistance in esthetic brackets. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.112, n.2, p. 138-44, Aug. 1997.
3. BEDNAR J.R.; GRUENDEMAN G.W. The influence of brackett design on moment production during axial rotation. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.104, n.3, p.254-261, Sept. 1993
4. BEDNAR, J.R.; GRUENDEMAN, G.W.; SANDRIK, J.L. A comparative study of frictional forces between orthodontics brackets and archwires. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.100, n.6, p. 513-22, Dec 1991.
5. BERGER J.L. The influence of the SPEED bracketts self ligating design on force levels in tooth movement: a comparative in vitro study. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.97, n.3, p.219-28, Mar. 1990.
6. BERGER, J. Self-Ligation in the year 2000. **J Clin Orthod**, p. 74-81 Feb. 2000.
7. BRAUN, S. et al. Friction in perspective. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.115, n.6, p. 610-27, June 1999.

* De acordo com as normas da ABNT, com as adaptações sugeridas pelo manual de Normas para apresentações de Monografias, Dissertações e Teses recomendada para uso no âmbito do Programa de Pós Graduação em Odontologia, Área de concentração em Ortodontia, da Universidade Metodista de São Paulo.

-
-
8. CACCIAFESTA, V. et al. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.124, n.4 p. 395-402 , Oct. 2003.
 9. DAMON, D.H. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating brackets. **Clin Orthod Res**, v.1, n.1 p. 52-61, Aug. 1998.
 10. DRESCHER D.; BOURAEL, C.; SCHUMACHER, H.A. Frictional forces between bracket and archwire. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.96, n.5, p.397-404, Nov. 1989.
 11. FRANK C.A.; NIKOLAI R.J. A comparative study of frictional resistance between orthodontic bracket and archwire. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.78, n.6, p.593-609, Dec. 1980.
 12. GARNER; L.D.; ALLAI, W.W.; MOORE, B.K. Comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise archwire. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.90, n.3, p.199-203, Sept. 1986.
 13. GRIFFITHS, H.S.; SHERRIFF; IRELAND Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.127, n.6, p.670-75, June 2005.
 14. HAIN, M. DHOPATKAR, A.; ROCK, P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.123, n.4, p.416-22, Apr. 2003.
 15. HANSON , H. The Speed system: a report on the development of a new edgewise appliance. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.78, n.3, p.243-65, Sept. 1980.

-
-
16. HARRADINE, N.W.T. et al. The clinical use of Activa self-ligating brackets. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.109, n.3, p.319-28, Mar. 1996.
17. HARRADINE, N.W.T. Self-ligating brackets : where are we now ? **J Orthod**, v.30, n.3, p.262-73, Sept. 2003.
18. HENAO, S.P.; KUSY, R.P. Evaluation of the frictional resistance of conventional and self-ligating brackets designs using standardized archwires and dental typodonts. **Angle Orthod**, v. 74, n.2 p. 202-11, Apr. 2004.
19. HENAO, S.P.; KUSY, R.P. Frictional evaluations of dental typodont models using four self-ligating designs and a conventional design. **Angle Orthod**, v. 75, n.1, p. 75-85, Jan. 2005.
20. KAPILA, S. et al. Evaluation of friction between edgewise SS brackets and orthodontic wires of four different alloys. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.98, n.2, p.117-26, Aug 1990.
21. KHAMBAY, B.; MILLETT, D.; MCHUGH, S. Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. **Eur J Orthod** v. 26, n.3, p. 327-32, June 2004.
22. KUSY, R.P.; WHITLEY, J.Q. Effects of sliding velocity on coefficients of friction in a model orthodontic system. **Dent Mat**, v.5, n.4, p.235-40, July 1989.
23. KUSY, R.P.; WHITLEY, J.Q. Friction between different wire-bracket configurations and materials. **Semin Orthod**, v.3, n. 3, p, 166-77, Sept. 1997.
24. KUSY, R.P.; WHITLEY, J.Q. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. **Eur J Orthod**, v.21, n.2, p.199-208, Apr. 1999.

-
25. KUSY, R.P. Orthodontic biomechanics: Vistas from the top of a new century. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.117, n.5, p.589-91, May 2000.
26. LOFTUS, B.P et al Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.116, n.3, p.336 -45, Sept. 1999.
27. LOFTUS, B.P.; ARTUN, J. A model for evaluating friction during orthodontic tooth movement. **Eur J Orthod**, v.23, n.3, p.253-61, June 2001.
28. MENDES, K.; ROUSSOW, P.E. Friction: validation of manufacturer's claim. **Semin Orthod**, v.9, n.4, p.236-50, Dec. 2003.
29. MILES, P.G.; WEYANT, R.J.; RUSTVELD, L. A clinical trial of Damon 2 vs. Conventional twin brackets during initial alignment. **Angle Orthod**, v.76, n.3, p. 480-485, May 2006.
30. O'REILLY, et al An *ex vivo* investigation into the effect of bracket displacement on the resistance to sliding. **British J Orthod**, v.26, n.3, p.219-27, Sept. 1999.
31. PIZZONI, L., RAVNHOLT, G.; MELSEN, B. Frictional forces related to self-ligating brackets. **Eur J Orthod**, v.20, n.3, p. 283-91, June 1998.
32. READ-WARD, G.E., JONES, S.P.; DAVIES, E.H. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. **British J Orthod**, v.24, n.4, p. 309-17, Nov. 1994.
33. REDLICH, M. et al In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced friction" brackets. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.124, n.1, p.69-73, July 2003.

-
34. ROUSSOUW, P.E. Friction: An overview. **Semin Orthod**, v.9, n.4, p.218-22, Dec. 2003.
35. ROUSSOUW, P.E.; KAMELCHUK, L.S.; KUSY, R.P. A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. **Semin Orthod**, v.9, n.4, p.223-35, Dec. 2003.
36. SHIJAPUJA, P.K.; BERGER, J. A comparison study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.106, n.5, p.472-80, Nov. 1994.
37. SIMS, A.P.T. et al. A comparison of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and a pre-adjusted bracket employing two types of ligation. **Eur J Orthod**, v.15, n.5, p. 377-85, Oct. 1993.
38. SIMS, A.P.T., WATERS, N.E.; BIRNIE, D.J. A comparison of the forces required to produce tooth movement *ex vivo* through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. **British J Orthod**, v.21, n.4, p. 367-73, Nov. 1994.
39. SMITH, D.V; ROUSSOW, P.E.; WATSON, P. Quantified simulation of canine retraction: evaluation of frictional resistance. **Semin Orthod**, v.9, n.4, p.262-80, Dec. 2003.
40. TECCO, S. et al. Friction of conventional and self-ligating brackets using a 10 bracket model. **Angle Orthod**, v.75, n.6, p. 828-32, Nov. 2005.
41. THOMAS, S., SHERRIFF, M.; BIRNIE, D. A comparative *in vitro* study of the frictional characteristics of two types of self-ligating brackets and two types of pre-adjusted edgewise brackets tied with elastomeric ligatures. **Eur J Orthod**, v.20, n.5, p. 589-96, Oct. 1998.

42. THORSTENSON, G.A., KUSY, R.P. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.120, n.4, p.361-70, Oct. 2001.
43. THORSTENSON, G.A., KUSY, R.P. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.121, n.5, p.472-82, May 2002.
44. THORSTENSON, G.A.; KUSY, R.P. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.122, n.3, p.295-305, Sept. 2002.
45. TIDY, D.C. Frictional force in fixed appliances. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.96, n.3, p.249-54, Sept. 1989.
46. TSELEPIS, M.B. BROCKHURST, P.; WEST, V.C. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.106, n.2, p.131-38, Aug. 1994.
47. VOUDOURIS, J.C. Interactive edgewise mechanisms: Form and function comparison with conventional edgewise brackets. **Am J Orthod Dentofac Orthop**, v.111, n.2, p.119-40, Feb. 1997.
48. YOUNG, H.D. **Física 1 – Mecânica** 10 Ed., Editora Addison Wesley: São Paulo, 2003.

Anexos

Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de São Paulo



Universidade
Metodista
de São Paulo

Comitê de Ética em Pesquisa – CEP-UMESP
22/06/06 – 209/06

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP-UMESP

Título do Projeto de Pesquisa: Análise comparativa da eficiência dos níveis de atrito em braquetes convencionais e auto-ligados

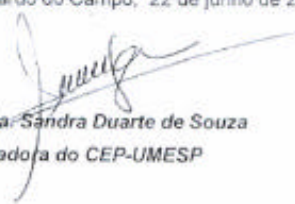
Pesquisador Responsável: Mauro dos Santos Piochioni

Curso/Faculdade: Pós-Graduação em Odontologia

O Comitê de Ética em Pesquisa, reunido em 22/06/06, deliberou como segue sobre o protocolo em questão:

O projeto de pesquisa tem como objetivo *avaliar comparativamente, por meio de ensaios laboratoriais, os coeficientes de atrito em diferentes braquetes para determinar qual sistema apresenta os melhores coeficientes de atrito, com a utilização de arcos ortodônticos de diferentes materiais, formatos e diâmetros*. Após leitura e análise do projeto e exame criterioso de todos os itens que compõem os documentos do Protocolo de Pesquisa, incluindo os itens presentes no Roteiro de Checagem para o parecerista, verificou-se que por se tratar de ensaios laboratoriais utilizando matriz metálica, sem o envolvimento de seres humanos ou animais, o projeto não necessita de avaliação no CEP-UMESP.

São Bernardo do Campo, 22 de junho de 2006.


Prof. Dra. Sandra Duarte de Souza
Coordenadora do CEP-UMESP

Campus Rudge Ramos
Rua do Sacramento, 240, Rudge Ramos
09600-000 • São Bernardo do Campo • SP
Tel.: (11) 4366-5400

Campus Vergueiro
Av. Simão Vergueiro, 1317, Jardim do Aze
09752-001 • São Bernardo do Campo • SP
Tel.: (11) 4366-5400

Campus Planalto
Rua Dom Jaime de Barros Câmara, 7500 • Planalto
09335-000 • São Bernardo do Campo • SP
Tel.: (11) 4366-3300

www.metodista.br

Certificado de calibração da Máquina de Universal de Ensaios, Modelo DL 2000

Emic-Dcame

laboratório de calibração credenciado pela Cgcre/Inmetro sob o número 197



Máquinas de Ensaio

Certificado de Calibração

número: **235/06**

emissão: 06/04/06

cliente: Dental Morelli Ltda
Alameda Jundiá, 230/250 - Jd. Saira - Sorocaba - SP - CEP: 18085-090

item calibrado: Máquina Universal de Ensaios
identificação: modelo DL2000; NO 4682; NS 017; Marca Emic
escalas calibradas: 100N; 500N; 5kN; 20kN - Tração e Compressão
procedimento: PQ04 revisão 01 - procedimento baseado na norma NBR NM-ISO 7500

local da calibração: Instalações do cliente - Metalografia e Ensaios
data da calibração: 27/03/06
temperatura (°C): 25,8
ordem de serviço nº: 171/06

técnico: Mário Kuriqi

DENTAL MORELLI LTDA. CALIBRAÇÕES INSTRUMENTOS/METROLOGIA APROVADO	
Nome Resp.:	<i>Leonardo</i>
Ass.:	<i>fs</i>
Data:	24/04/2006

Leonardo Borges Chiaretto
Leonardo Borges Chiaretto
Engenheiro Mecânico

Este certificado é válido exclusivamente para o equipamento calibrado nas condições desta ocasião, não sendo estendido a quaisquer outros lotes, mesmo que similares.

Este certificado só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do laboratório.

Este certificado atende aos requisitos de credenciamento pela Cgcre/Inmetro, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com ν graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

O Inmetro é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo do ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation.

O Inmetro é signatário de acordo bilateral de reconhecimento mútuo com a EA - European Co-operation for Accreditation.

02/05/11/rev07

EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
Rua Quirino Zaganel, N.º 257 - Bairro: Braga
CEP: 63020-250 - São José das Pinhais - PR
Fone: 0XX41-3283-1143 - Fax: 0XX41-3285-2979
E-mail: emic@emic.com.br - WEB/SITE: www.emic.com.br

página 1 de 5

Certificado de calibração da Máquina de Universal de Ensaio, Modelo DL 2000

Emic-Dceme

laboratório de calibração credenciado pela Cgcref/Inmetro sob o número 197



Máquinas de Ensaio

Certificado de Calibração

número: **235/06**

emissão: 06/04/06

escala calibrada: 100		unidade: N	sentido: tração		aceleração da gravidade média gm = 9,75762 m/s ²					
identificação do transdutor: 517403		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 0,5								
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza sU		grau de liberdade efetivo	fator de abrangência
	N	N	%	%	%	%	N	%	velf	k
20	19,9957	19,983	-0,062	0,050	não solicitado	0,050	0,011	0,057	6	2,52
40	40,0015	40,003	0,005	0,025	não solicitado	0,025	0,011	0,028	6	2,52
60	59,9982	60,007	0,014	0,033	não solicitado	0,017	0,033	0,055	2	4,53
80	80,0037	80,007	0,004	0,025	não solicitado	0,012	0,033	0,041	2	4,53
100	99,9999	100,010	0,010	0,030	não solicitado	0,010	0,047	0,047	2	4,53
erro relativo de zero (%)			série 1 f ₀ = 0,020	série 2 f ₀ = 0,020	série 3 f ₀ = 0,000					

padrões utilizados na calibração

padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6074	incerteza	calibração	validade
peso padrão	1 a 50g	RF 30 a 37	3012973	não aplicável	±0,10mg	04/12/03	04/12/07
peso padrão	0,1 a 10kg	RF 71 a 79	2056035	não aplicável	±0,20g	04/06/02	04/06/06

escala calibrada: 100		unidade: N	sentido: compressão		aceleração da gravidade média gm = 9,78782 m/s ²					
identificação do transdutor: 517403		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 0,5								
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza sU		grau de liberdade efetivo	fator de abrangência
	N	N	%	%	%	%	N	%	velf	k
20	19,9957	20,017	0,10	0,10	não solicitado	0,05	0,033	0,17	2	4,53
40	40,0015	39,987	-0,04	0,07	não solicitado	0,02	0,042	0,11	2	4,53
60	59,9982	59,990	-0,014	0,033	não solicitado	0,017	0,022	0,056	3	3,31
80	80,0037	80,013	0,012	0,025	não solicitado	0,012	0,033	0,041	2	4,53
100	99,9999	100,027	0,027	0,020	não solicitado	0,010	0,033	0,033	2	4,53
erro relativo de zero (%)			série 1 f ₀ = 0,020	série 2 f ₀ = 0,000	série 3 f ₀ = 0,000					

padrões utilizados na calibração

padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6074	incerteza	calibração	validade
peso padrão	1 a 50g	RF 30 a 37	3012973	não aplicável	±0,10mg	04/12/03	04/12/07
peso padrão	0,1 a 10kg	RF 71 a 79	2056035	não aplicável	±0,20g	04/06/02	04/06/06

RQ-05 | revisão 07

EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
 Rua Quirino Zagonel, N.º 257 - Bairro: Braga
 CEP: 83020-250 - São José dos Pinhais - PR
 Fone: 0XX41-3283-1143 - Fax: 0XX41-3283-2979
 E-mail: emic@emil.com.br - Web: http://www.emic.com.br

página 2 de 5

Certificado de calibração da Máquina de Universal de Ensaio, Modelo DL 2000

Emic-Dcame

laboratório de calibração credenciado pela Cgcre/Inmetro sob o número 197



Máquinas de Ensaio

Certificado de Calibração

número: 235/06

emissão: 06/04/06

escala calibrada: 500		unidade: N	sentido: tração			aceleração da gravidade média gm = 9,78762 m/s ²				
identificação do transdutor: 509807		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1								
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza zU		grau de liberdade efetivo	nível de abrangência
	N	N	%	%	%	%	N	%	veff	k
20	99,9999	100,07	0,07	0,10	não solicitado	0,10	0,11	0,11	6	2,52
40	200,00	200,23	0,12	0,10	não solicitado	0,05	0,23	0,11	10	2,28
60	300,00	300,13	0,044	0,067	não solicitado	0,033	0,23	0,078	12	2,23
70	350,00	349,97	-0,010	0,029	não solicitado	0,029	0,18	0,053	111	2,02
80	400,00	400,13	0,033	0,025	não solicitado	0,025	0,19	0,048	128	2,02
erro relativo de zero (%)			série 1 f ₀ = 0,000		série 2 f ₀ = 0,000		série 3 f ₀ = 0,000			
padrões utilizados na calibração										
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe	incerteza	calibração	validade			
peso padrão	1 a 50g	RF 30 a 37	3013873	não aplicável	±0,10mg	04/12/03	04/12/07			
peso padrão	0,1 a 10kg	RF 71 a 79	2006036	não aplicável	±0,20g	04/06/02	04/06/06			
célula de carga	2kN	741289-1	58781-101	Classe 1	±0,09+FR100)N	31/08/04	31/10/06			

escala calibrada: 500		unidade: N	sentido: compressão			aceleração da gravidade média gm = 9,78762 m/s ²				
identificação do transdutor: 509807		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1								
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza zU		grau de liberdade efetivo	nível de abrangência
	N	N	%	%	%	%	N	%	veff	k
20	99,9999	100,43	0,43	0,10	não solicitado	0,10	0,11	0,11	6	2,52
40	200,00	200,60	0,30	0,15	não solicitado	0,05	0,36	0,18	4	2,87
60	300,00	300,40	0,13	0,20	não solicitado	0,03	0,98	0,33	2	4,53
70	350,00	348,43	-0,45	0,14	não solicitado	0,03	0,56	0,16	3	3,31
80	400,00	398,33	-0,417	0,050	não solicitado	0,025	0,24	0,050	15	2,18
erro relativo de zero (%)			série 1 f ₀ = 0,000		série 2 f ₀ = 0,000		série 3 f ₀ = 0,000			
padrões utilizados na calibração										
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe	incerteza	calibração	validade			
peso padrão	1 a 50g	RF 30 a 37	3013873	não aplicável	±0,10mg	04/12/03	04/12/07			
peso padrão	0,1 a 10kg	RF 71 a 79	2006036	não aplicável	±0,20g	04/06/02	04/06/06			
célula de carga	2kN	741289-c	58781-101	classe 1	±0,09+FR100)N	31/08/04	31/10/06			

RD 05 1 rev 06/07

EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
 Rua Quirino Zagonel, N.º: 257 - Bairro: Braga
 CEP: 83020-250 - São José dos Pinhais - PR
 Fone: 0XX41-3283-1143 - Fax: 0XX41-3283-2979
 E-mail: emic@amic.com.br / WEB SITE: www.emic.com.br

página 3 de 5

Certificado de calibração da Máquina de Universal de Ensaio, Modelo DL 2000

Emic-Dcame

laboratório de calibração credenciado pela Cgcre/Inmetro sob o número 197



Máquinas de Ensaio

Certificado de Calibração

número: 235/06

emissão: 06/04/06

escala calibrada: 5		unidade: kN		sentido: tração		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1					
identificação do transdutor: 498712											
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza zU		grau de liberdade efetivo	fator de abrangência	
	kN	kN	%	%	%	%	kN	%	veff	k	
20	1,0000	1,0017	0,17	0,10	não solicitado	0,10	0,0030	0,30	6	2,32	
40	2,0000	2,0010	0,05	0,00	não solicitado	0,05	0,0060	0,30	> 501	2,00	
60	3,0000	3,0020	0,07	0,00	não solicitado	0,03	0,0060	0,30	> 501	2,00	
80	4,000	4,003	0,08	0,00	não solicitado	0,03	0,012	0,30	> 501	2,00	
96	4,800	4,803	0,06	0,00	não solicitado	0,02	0,014	0,30	> 501	2,00	
erro relativo de zero [%]			série 1 $f_0 = 0,02$		série 2 $f_0 = 0,02$		série 3 $f_0 = 0,00$				
padrões utilizados na calibração											
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6674	incerteza	calibração	validade				
célula de carga	5kN	50072-1	50453	Classe 1	±(0,26+R/400)N	18/03/04	18/10/06				

escala calibrada: 5		unidade: kN		sentido: compressão		classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1					
identificação do transdutor: 498712											
% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza zU		grau de liberdade efetivo	fator de abrangência	
	kN	kN	%	%	%	%	kN	%	veff	k	
20	1,0000	1,0023	0,23	0,10	não solicitado	0,10	0,0030	0,30	10	2,28	
40	2,0000	2,0057	0,28	0,15	não solicitado	0,05	0,0060	0,30	3	3,31	
60	3,0000	3,0080	0,27	0,00	não solicitado	0,03	0,0060	0,30	> 501	2,00	
80	4,000	3,963	-0,43	0,05	não solicitado	0,03	0,012	0,30	5	2,65	
96	4,800	4,788	-0,26	0,04	não solicitado	0,02	0,014	0,30	6	2,52	
erro relativo de zero [%]			série 1 $f_0 = 0,00$		série 2 $f_0 = 0,00$		série 3 $f_0 = 0,00$				
padrões utilizados na calibração											
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6674	incerteza	calibração	validade				
célula de carga	5kN	50072-c	50453	Classe 1	±(0,31+R/300)N	18/03/04	18/10/06				

BO 05.1 revisto 07

EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
 Rua Quirino Zagonel, N.º 257 - Bairro: Braga
 CEP: 83020-250 - São José dos Pinhais - PR
 Fone: 0XX41-3283-1143 - Fax: 0XX41-3283-2979
 E-mail: emic@emic.com.br - WEB: SITE: www.emic.com.br

página 4 de 5


Certificado de calibração da Máquina de Universal de Ensaio, Modelo DL 2000

Emic-Dcame

laboratório de calibração credenciado pela Cgcre/Inmetro sob o número 197

Certificado de Calibração

número: **235/06** emissão: 06/04/06



Máquinas de Ensaio

escala calibrada: 20

unidade: kN

sentido: tração

identificação do transdutor: 166800 classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1

% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza xU		grau de liberdade efetivo	tubo de abrangência
	kN	kN	%	%	%	%	kN	%	veff	k
20	4,000	3,998	-0,04	0,05	não solicitado	0,025	0,012	0,30	17	2,16
40	8,000	8,001	0,02	0,14	não solicitado	0,013	0,024	0,30	2	4,53
60	12,000	12,005	0,04	0,08	não solicitado	0,008	0,036	0,30	3	3,31
80	16,000	15,998	-0,01	0,01	não solicitado	0,006	0,048	0,30	450	2,01
95	19,000	19,003	0,04	0,05	não solicitado	0,005	0,057	0,30	7	2,43
erro relativo de zero (%)			série 1 $f_0 = 0,01$		série 2 $f_0 = 0,01$		série 3 $f_0 = 0,00$			

padrões utilizados na calibração

padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6674	incerteza	calibração	validade
celula de carga	20kN	585978-1	58599-101	classe 1	$\pm(0,0008 + F/3700)kN$	10/09/04	10/11/06

escala calibrada: 20

unidade: kN

sentido: compressão

identificação do transdutor: 166800 classificação conforme NBR NM-ISO 7500: Classe 1

% do fim de escala	VVC	média das indicações na máquina	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	erro relativo de reversibilidade	resolução relativa	incerteza xU		grau de liberdade efetivo	tubo de abrangência
	kN	kN	%	%	%	%	kN	%	veff	k
20	4,000	4,005	0,12	0,12	não solicitado	0,025	0,012	0,30	3	3,31
40	8,000	8,004	0,05	0,09	não solicitado	0,013	0,024	0,30	4	2,67
60	12,000	11,999	-0,01	0,05	não solicitado	0,008	0,036	0,30	8	2,37
80	16,000	15,886	-0,71	0,04	não solicitado	0,006	0,048	0,30	18	2,15
95	19,000	18,887	-0,59	0,03	não solicitado	0,005	0,057	0,30	19	2,14
erro relativo de zero (%)			série 1 $f_0 = 0,01$		série 2 $f_0 = -0,01$		série 3 $f_0 = 0,01$			

padrões utilizados na calibração

padrão	capacidade	identificação	certificado	classe NBR6674	incerteza	calibração	validade
celula de carga	20kN	585978-c	58032	classe 1	$\pm(0,0008 + F/3700)kN$	30/07/04	30/09/06

RG 051 revisão 07

EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda
 Rua Quirino Zagonel, N.º. 257 - Bairro: Braga
 CEP: 83020-250 - São José dos Pinhais - PR
 Fone: 0XX41-3283-1143 - Fax: 0XX41-3283-2879
E-mail: contato@emic.com.br - SAC@EMIC - www.emic.com.br

página 5 de 5

Apêndice



Relatório do ensaio, com gráfico demonstrativo, para o braquete Damon 2, fio de aço 0.019" x 0.025", com o fio posicionado em dobra de 2ª ordem em 3°.

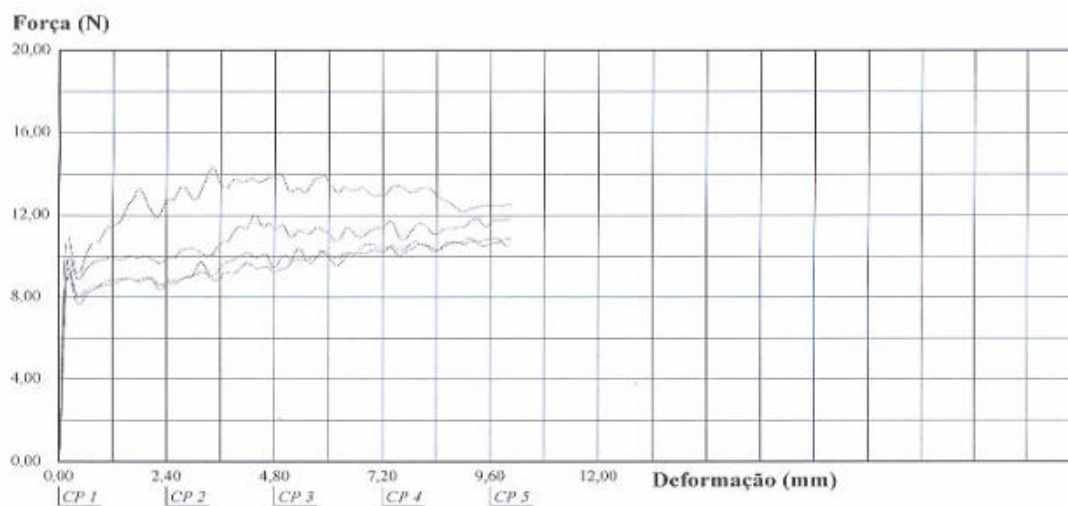
Morelli Ortodontia

Qualidade Assegurada

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL2000** Célula: **Trd 19** Extensômetro: - Data: **22/05/2006** Hora: **09:26:03** Trabalho n° **2972**
 Programa: **Tese versão 3.01** Método de Ensaio: **19**
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>> Produto: **Atrito p/ Mauro Picchioni seqüência 39 N° 39 (Damon 3° Vertical SS .019" x.025")**.

Corpo de Prova	Força Máxima Atr. estático (N)	Força Média atr. estático (N)	Força Média atr. dinâmico. (N)
CP 1	14,30	10,8	13,2
CP 2	12,04	9,3	11,1
CP 3	10,90	8,4	9,9
CP 4	10,93	8,1	10,0
Número CPs	4	4	4
Média	12,04	9,148	11,03
Mediana	11,48	8,820	10,55
Desv. Padrão	1,595	1,212	1,522
Coef. Var. (%)	13,24	13,25	13,80
Mínimo	10,90	8,138	9,852
Máximo	14,30	10,81	13,16



Observação: Veloc. ensaio 100mm/min.

