

POTENCIALIDADES DA TRIBOMETRIA APLICADA A ORTODONTIA

Lívia Miranda Barbosa, Universidade Federal de Uberlândia, livia.barbosa@ufu.br

José Daniel Biasoli de Mello, Universidade Federal de Uberlândia, ltm-mello@ufu.br

Resumo: A ortodontia visa através de forças mecânicas prover movimentações na dentição do paciente por intermédio de dispositivos colocados na cavidade oral. Um aparelho fixo consiste basicamente em bráquetes que são pequenos suportes fixados nos dentes, os quais possuem canaletas por onde passa o fio ou arco ortodôntico. Este par bráquete-fio necessita de uma boa interação superficial com o menor atrito possível para que as forças necessárias para movimentação sejam mínimas e sem exercer sobrecargas nos dentes. Devido à grande diversidade de ligas ortodônticas e diferentes configurações de design deste par, a necessidade de elaborar testes para quantificar a interação superficial identificando os materiais e disposição mais adequados a técnica. Apresenta-se, neste artigo, uma completa síntese da literatura abordando os diversos testes que abordam esta temática. Suas principais características, adequabilidade e representatividade da situação in situ são revistos e sua potencialidade analisada.

Palavras-chave: tribologia, ortodontia, braquete-fio, atrito, testes tribológicos

1. INTRODUÇÃO

A tribologia tem como finalidade o estudo da interação de superfícies em movimento relativo e das práticas relacionadas. Com o objetivo de entender o comportamento dos materiais, diversas configurações de testes podem ser representativas e oferecer as informações de interação entre superfícies e meios. A superfície dos sólidos sob influência de reações químicas ou físicas, e processos de desgaste, apresentam configuração complexa que necessita de uma abordagem multidisciplinar para o entendimento.

Dentro da tribologia, há uma área que aborda a interação dos materiais com o corpo humano, conhecida como biotribologia. Esta aporta o estudo principalmente dos biomateriais, que possuem propriedades compatíveis com a vida sem causar avarias ao paciente em contato com este. Com o avanço de técnicas de substituição de tecidos e órgãos, bem como a correção de fatores externos e internos do corpo humano, o estudo de como o corpo reage na presença destes é uma área em expansão constante.

A ortodontia é uma área da odontologia que tem como principal abordagem a movimentação dentária através da aplicação de forças utilizando dispositivos que em sua maioria são metálicos ou cerâmicos. Estes como estão em constante contato com a cavidade oral, devem possuir as propriedades de biocompatibilidade, e ter suas respostas estudadas em interação com meio corrosivo e de desgaste que estão dispostos.

Estes materiais são focos de diversos estudos devido à liberação de componentes e íons no organismo, o que pode causar efeitos adversos como irritação, inflamação e o aumento da concentração iônica no corpo. Os metais pesados utilizados são de importante avaliação devido ao seu potencial genotóxico, citotóxico e carcinogênico. Um exemplo são os metais Níquel e Cromo que podem ser liberados de aparelhos ortodônticos causando quebras do DNA de células da mucosa bucal, Menezes; Freitas e Gonçalves (2009).

A técnica mais utilizada na ortodontia para movimentação dos dentes consiste na instalação do aparelho fixo. Neste os bráquetes, que são pequenos suportes com canaleta, são colados nos dentes através de resinas apropriadas e não são removidas até o final do tratamento. O fio passa por dentro desta cavidade e é preso por ligaduras elásticas, amarrilho ou por sistema de bráquete auto-ligável a qual possui uma configuração de um clip que prende o fio dentro da canaleta. As forças biomecânicas sobre os dentes causam estímulos que leva a movimentação dos dentes devido a remodelação óssea.

2. BIOTRIBOLOGIA BUCAL

O ambiente bucal está em constante exposição a mudanças rápidas físicas, químicas e condições ambientais do tipo, temperatura, pH, saliva, sal, comidas, líquidos, drogas, flora bacteriana, atividade enzimática, presença de proteínas, dentre outros. Placas dentárias e alimentos aderem aos dentes e a materiais que estejam dentro da boca, formando bactérias e alterando também o ambiente. Forças mecânicas variam de acordo com a comida consumida, temperatura, local na boca e transtornos funcionais como o bruxismo. Em resumo, a boca consiste em um ambiente com processos complexos que envolvem reações mecânicas, térmicas e químicas. Sendo que todos estes processos variam com fatores como idade, patologias, hábitos, dentre outros, (Upadhyay *et al.*, 2006; Sajewicz e Kulesza, 2007).

A mastigação é um processo complexo caracterizado pela força da mordida, velocidade, aceleração da mandíbula, tamanho e dureza da comida, ação química e física da saliva e fatores fisiológicos. A força de uma mordida é de aproximadamente 77 Kg nos dentes posteriores, o que representa (0.193 GPa) em uma cúspide de um dente molar. Similarmente a temperatura e o pH na boca variam a valores extremos, quando bebemos um café e após tomamos um

sorvete. Essas diversas mudanças afetam os dentes e quaisquer materiais dentais presente na boca (Upadhyay *et al.*, 2006; Sajewicz e Kulesza, 2007).

O desgaste devido ao atrito é dependente do tipo de carga, o desgaste se dá de forma diferente quando em carga cíclica e quando em carga constante. No processo de mastigação a força tende a aumentar no final deste movimento, como consequência o desgaste é diferente de acordo com a área de contato dos dentes. A saliva que possui como uma de suas funções a lubrificação, deve ser considerada em estudos tribológicos na boca, Sajewicz e Kulesza (2007).

Sob todas estas circunstâncias o principal mecanismo tribológico que ocorre na boca é a tribo-corrosão. A corrosão em ambiente bucal é abordada na literatura por Upadhyay *et al.* (2006), bem como estudo sobre ligas usadas na odontologia e desgaste devido contato dente-alimento e dente-dente, e estudos sobre as técnicas de análise desta configuração de desgaste são abordadas em Sajewicz e Kulesza (2007).

Além do desgaste devido ao atrito e a corrosão que os dentes sofrem, os diversos outros dispositivos que estão na boca devido a aplicações da odontologia, também sofrem avarias. Os desgastes que ocorrem nestes podem ser originários das situações já mencionadas e também da interação entre eles, como metal-metal ou metal-cerâmico.

3. TRIBOLOGIA APLICADA A ORTODONTIA

O contato bráquete-fio é crítico na qualidade do tratamento, altos valores de atritos provocam sobrecarga nos dentes, podendo causar absorção do osso e complicações irreversíveis. Quando se tem um atrito elevado, há a necessidade de se fazer maior força para conseguir movimentação desejada, assim o corpo interpreta as mudanças como uma agressão e atua contra as modificações, diminuindo assim a eficiência da movimentação ortodôntica. Outro ponto são os danos causados nos tecidos circundantes e ao corpo humano quando exposto a materiais liberados em processo de desgaste de metais e suas ligas, Schemann *et al.* (2012).

3.1. O Fio Ortodôntico

O fio é o principal componente do aparelho ortodôntico responsável pela carga que movimenta os dentes. Esta carga deve ser, sobretudo, baixa e contínua de forma que o organismo a entenda como algo natural e parte do sistema biológico, seu valor máximo recomendado deve ser de 200 g para produzir um movimento dentário confortável, porém este valor varia para cada paciente de acordo com sua sensibilidade. Devido a sua importante participação, vários fatores devem ser considerados no seu estudo e escolha, são eles: propriedades mecânicas, espessura, secção transversal, composição do material de fabricação, tratamento superficial, características de superfície (interface), distância interbráquetes, o tamanho dos bráquetes, o atrito entre bráquete e fio, curvatura do arco, relação tensão deformação entre outros, Schemann *et al.* (2012).

3.2. Rigidez do Fio

Um sistema de força ideal é aquele que controla com precisão o centro de rotação do dente durante o movimento, produz níveis de tensões ideal e mantém esses níveis relativamente constantes durante a movimentação dos dentes.

As propriedades mecânicas dos metais utilizados na elaboração de fios e bráquetes devem ser estudadas com o objetivo de prever o comportamento destes quando em atuação, visando uma intervenção de forma que o organismo entenda a mudança de forma natural e não abrupta mantendo estes níveis desejados.

Segundo Budynas *et al.* (2011) o módulo de elasticidade (E) ou módulo de Young é definido como a proporcionalidade entre tensão e deformação, está relacionado a rigidez do material, ou seja, o quanto ele pode deformar elasticamente sob uma tensão. É propriedade intrínseca dos materiais, dependente da composição química, microestrutura e defeitos (poros e trincas). Esta proporcionalidade é definida de acordo com a lei de Hooke dada pela Eq. (1):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Assim o módulo de elasticidade se relaciona diretamente com a carga necessária para se obter deflexões nos fios. Quanto maior o módulo de elasticidade de um fio, maior a sua relação carga/deflexão e maior a sua rigidez. Assim, o ortodontista deve analisar cuidadosamente a relação carga/deflexão de cada fio para a escolha mais adequada em cada etapa do tratamento, Graber; Vanarsdall e Vig (2012).

3.3. O Atrito

Quando duas superfícies em contato são colocadas em movimento relativo, há uma resistência a este movimento chamada força de atrito. Esta força é estabelecida por três leis: 1) a força de atrito é proporcional a carga normal; 2) a força de atrito é independente da área aparente de contato; 3) a força de atrito é independente da velocidade de deslizamento. Estas leis possuem exceções para alguns casos, ver Hutchings e Shipway (1992). Apesar do atrito ser independente da velocidade de deslizamento como dito na terceira lei, a força necessária para iniciar o movimento de

deslizamento é maior que a necessária para mantê-lo, assim o coeficiente de atrito estático (μ_s) é maior que o coeficiente de atrito dinâmico (μ_d). Após iniciado o movimento, μ_d não varia com a velocidade, Hutchings e Shipway (1992).

Em todos os modos de contato e movimento relativo há mecanismos de dissipação de energia, esta dissipação ocorre principalmente na forma de calor, com o aumento da temperatura na interface, por deformação plástica que normalmente ocorre em metais e cerâmicos e por comportamento viscoelástico no caso de polímeros. No atrito por deslizamento, a força de atrito tem origem em dois fatores, na força de adesão na área real de contato entre as duas superfícies, e a força de deformação para sulcar as asperidades de uma superfície mais dura em uma superfície com menor dureza. Na prática, estes dois mecanismos aparecem juntos, Hutchings e Shipway (1992).

O atrito que ocorre entre o par bráquete-fio é produzido por 1) método de amarração do fio dentro da canaleta, sendo que este pode ser através de ligaduras elásticas conhecidas como borrachinhas, ou pelo sistema de bráquete autoligável (sistema de fechamento da canaleta através de clips acoplados ao bráquete) e 2) devido a inclinação do fio em relação ao bráquete, geometria e angulação do bráquete, espessura do fio e materiais que os mesmos são feitos (mudando a interação entre superfície), Pacheco *et al.* (2011).

O estágio de movimentação do dente interfere na força de atrito. No momento em que há folga entre o fio e o bráquete, o atrito é pequeno, o atrito aumenta a medida que o fio encaixa na canaleta. Uma vez encaixado, a largura do bráquete não fará diferença no atrito se a força continuar a mesma. Na translação de um dente exige-se maior momento com força distal, assim, o atrito é maior neste movimento, Graber; Vanarsdall e Vig (2012).

O contato bráquete-fio é crítico na qualidade do tratamento, como já abordado anteriormente, altos atritos provocam sobrecarga nos dentes, podendo causar absorção do osso e complicações irreversíveis. Quando se tem um atrito elevado, há a necessidade de se fazer maior força para conseguir movimentação desejada, assim o corpo interpreta as mudanças como uma agressão e atua contra as modificações, diminuindo assim a eficiência da movimentação ortodôntica. Outro ponto, já abordado, são os danos causados nos tecidos circundantes e ao corpo humano quando exposto a materiais liberados em processo de desgaste de metais e suas ligas.

Buscando a redução do atrito no par, parâmetros como rugosidade da superfície, área de contato, geometria e propriedades mecânicas dos materiais, e sua interação devem ser levados em consideração na resposta tribológica de um sistema. Assim é importante a avaliação do atrito e comportamento do desgaste para desenvolvimento de pares mais adequados a prática, Rapiejko *et al.* (2009).

4. TESTES TRIBOLOGICOS

Apresenta-se, na sequencia, os principais testes aplicados no estudo tribológico em ortodontia com particular ênfase nos procedimentos adotados, métodos e aparatos utilizados. Como o objetivo de cada teste foi diversificado, o resultado em si de cada teste não é de importância primária.

Rapiejko *et al.* (2009) realizaram um teste para investigar o desgaste por *fretting* no contato bráquete-fio. O objetivo do teste era analisar a melhora de resposta da superfície a corrosão e atrito depositando camada de SiC e SiN em aço inoxidável austenítico, AISI 304, via deposição física de vapor (PVD). Uma vez que estas camadas podem reduzir o desgaste e as partículas de desgaste liberadas.

Com o objetivo de aumentar a cinética do desgaste, os testes iniciaram em condições secas (sem o uso de saliva artificial), depois as condições do teste mudaram para imersão em saliva artificial. Uma bomba peristáltica foi utilizada para manter circulação da saliva mantida a 37°C. Foram feitos testes com as seguintes configurações: SS-SS, SS-SiC, SS-SiN, SiN-SiC. Onde SS é aço inoxidável.

Apesar deste estudo abordar a questão do revestimento superficial visando melhorar as propriedades da interação do par, o que interessa para o presente artigo é o método usado para estudo da interação.

A Fig. (1) mostra o conjunto de parâmetros tribológicos impostos nos ensaios.

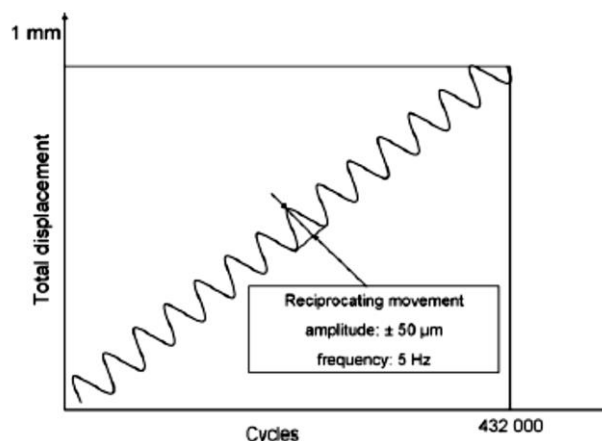


Figura 1 : Diagrama do deslocamento do *fretting* combinado com macro deslizamento de Rapiejko *et al.* (2009).

Os testes foram desenvolvidos combinando pequenos movimentos alternativos senoidais e lentos movimentos lineares, simulando desta forma o deslocamento dos dentes. O número de oclusões que ocorre em um mês também foi quantificado, considerando que a frequência de oclusão é 0.5 Hz e abrangendo atividade de 8h por dia. Portanto, o teste representa um mês de atividade tribológica sendo: 1) 1 mm de macro-deslizamento que simula o deslocamento dos dentes 2) 432000 ciclos que simulam o movimento de oclusão 3) aproximadamente 50 micrometros de amplitude de deslocamento. Como se tem limitação da frequência do equipamento, o teste foi realizado em 24h com frequência de 5 Hz induzindo velocidade de 0.694 micrometros por minuto.

Antes e após ensaio, as amostras foram pesadas, limpas e secadas. O bráquete foi fixado com resina em um suporte que foi acoplado a máquina na parte fixa e o fio na parte que possui movimento relativo, como mostrado na Fig. (2), a força normal utilizada foi de 5N. Força tangencial Q e deslocamento δ foram medidos, permitindo plotar a curva de *fretting*.

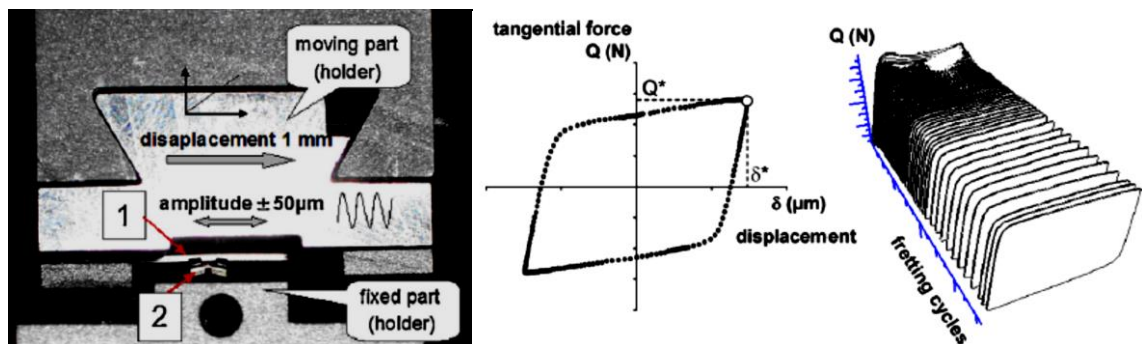


Figura 2 : Disposição das amostras no dispositivo de teste, 1) fio 2) bráquete, e curvas obtidas com os testes de Rapiejko *et al.* (2009)

Através de instrumental acoplado ao teste, foi possível determinar o coeficiente de atrito. Por imagens obtidas através de um microscópio eletrônico de varredura MEV, foi possível identificar as regiões e superfícies que sofreram maior desgaste. Este conjunto de dados possibilitou a análise do atrito e desgaste das diferentes configurações de amostras.

Stannard; Gau e Hanna (1986) realizaram testes com objetivo um pouco diferente do Rapiejko *et al.* (2009), foi analisado o coeficiente de atrito em condições secas e lubrificadas com saliva artificial. O autor variou as combinações de materiais e a força normal no sistema. Os bráquetes foram fixados e o fio puxado a uma velocidade de 1cm/min. A força normal e a força necessária para provocar movimento foram quantificadas e assim foi encontrado o coeficiente de atrito. O interessante deste trabalho, é que os testes revelaram que algumas configurações de materiais do par, possuem menor atrito quando estão a seco e maior atrito quando lubrificado em saliva. Nesta abordagem não houve simulações do movimento dos dentes, nem de oclusão da boca.

Clocheret *et al.* (2004) adaptaram uma máquina de seu laboratório para avaliar o comportamento do atrito em materiais ortodônticos. Um pequeno deslocamento tangencial alternado permitiu obter a força de atrito e então calcular as propriedades do atrito dinâmico para diferentes combinações do par. Neste trabalho foram avaliados 15 bráquetes e 16 fios comerciais. O bráquete foi fixado em uma esfera de 10 mm de diâmetro jateada para aumentar a sua rugosidade e melhorar a aderência do bráquete. Para fixação um adesivo ortodôntico foi utilizado. O bráquete fixado na esfera foi montado no eixo Z do aparato de *fretting* e posicionado usando um fio retangular preso ao suporte. O eixo Z se move eletronicamente em pequenos milímetros. Uma carga de 2N foi aplicada no eixo Z posicionando o bráquete contra o fio. Um deslocamento oscilatório lateral de 200 micrometro foi aplicado na superfície de contato com uma frequência de 1Hz e temperatura ambiente de 23 °C e umidade de 50%. Os testes foram executados sobre condições secas para que os dados pudessem ser comparados com valores já existentes na literatura. Através deste experimento, e estatísticas da ANOVA foi possível avaliar a resposta dos diferentes materiais do par bráquete-fio.

Willems *et al.* (2001), utilizaram o mesmo equipamento do teste de Clocheret *et al.* (2004), no seu estudo que aborda o comportamento do bráquete em deslizamento com o fio utilizando diferentes configurações de materiais. Se trata de um teste tipo *fretting* em deslocamentos tangenciais alternados usados para investigar os parâmetros que influenciam as forças de atrito durante deslizamento. No teste foi utilizada força normal de 2N e uma frequência de 1Hz para um deslocamento tangencial de 200 micrometros. Dois arcos com diferentes sessões transversais e dois bráquetes com diferentes tamanhos de canaletas foram utilizados. Neste, diferente do teste de Clocheret *et al.* (2004) o método de posicionamento específico que consiste em 2 passos foi utilizado. Primeiro um fio de mesma dimensão que o slot do bráquete foi utilizado para manter perfeito alinhamento do suporte e fio, assim a canleta se encontrava completamente preenchida pelo fio sem sobras laterais. O segundo passo, após alinhamento realizado, um fio de menor espessura foi posicionado. Este fio foi centrado na canleta deslocando no eixo x.

O interessante deste estudo é que ele aborda a importância do alinhamento do fio com a canleta do bráquete e quanto o não alinhamento pode modificar os resultados de coeficiente de atrito. Após executado o procedimento de alinhamento, foi possível quantificar a força de atrito e consequentemente o coeficiente de atrito. Quando o alinhamento

não foi executado valores maiores de coeficiente de atrito foram encontrados para as combinações. A máquina utilizada para realizar o teste de *fretting* pode ser observada na Fig. (3).

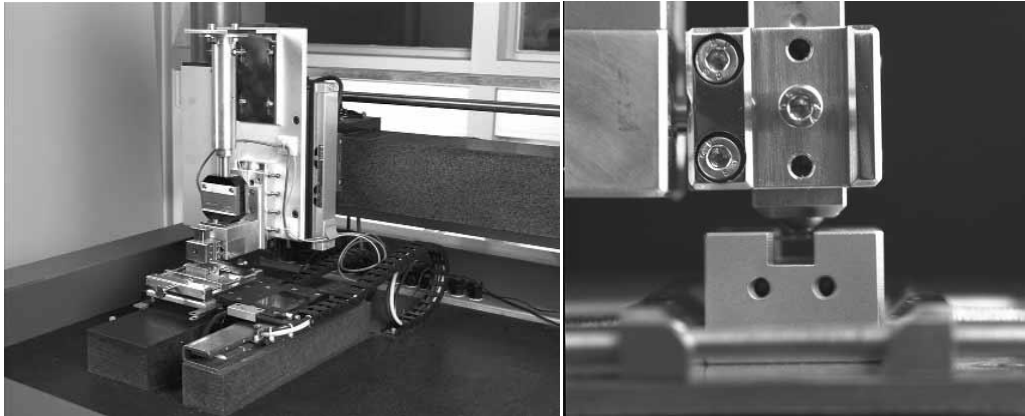


Figura 3 : A) máquina de fretting com eixos X, Y e Z. B) vista detalhada do local onde se encontra o bráquete e o fio de Willems *et al.* (2001)

O bráquete neste caso também foi fixado em uma esfera como descrito no teste anterior. A configuração foi a mesma, com uma aplicação diferente. Os resultados obtidos foram plotados em gráficos e podem ser vistos na Fig. (4).

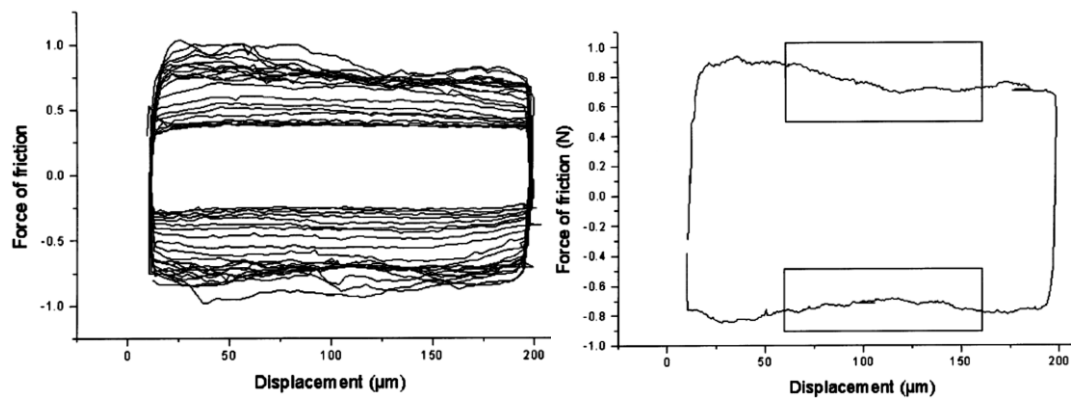


Figura 4 : Loop da força pelo deslocamento correspondente ao teste de *fretting* com bráquete-fio de aço inoxidável com deslizamento vibracional de 200 micrometros. No segundo gráfico, o segmento dentro do retângulo que foi utilizado para cálculo da força de atrito dinâmico, de Willems *et al.* (2001).

Reznikov *et al.* (2010) com o objetivo de saber as forças de atrito entre vários bráquetes auto-ligáveis e fios de aço inoxidável, quantificou o atrito do fio em três estados de deflexão. Os fios foram examinados através de microscópio eletrônico de varredura (MEV) antes e depois do deslizamento. O resultado foi a observação de diferentes forças de atrito em resposta as mudanças de deflexão.

Foi construída uma lamina retangular de alumínio e 3 hastes horizontais de aço endurecido orientadas verticalmente, dispostas na parte superior do dispositivo. Em cada experimento 3 bráquetes foram alinhadas na haste. O garfo foi usado para posicionar os bráquetes na mesma direção e a uma distância de 4,7 mm entre si. O fio é posicionado verticalmente e encaixado no slot do bráquete, a sua extremidade final é fixada em um peso morto de 1,5 N destinado a manter a pré-carga do sistema. O esquema do aparato pode ser visto na Fig. (5).

Michelberger *et al.* (2000) estudaram o comportamento do atrito do par em condições secas. O coeficiente de atrito de bráquetes de titânio e aço inoxidável em conjunto com arcos de aços e beta-titânio foi investigado utilizando um único ponto de contato entre o par. O desgaste foi examinado através de imagens de microscópio eletrônico e análises de energia dispersiva de raio-x.

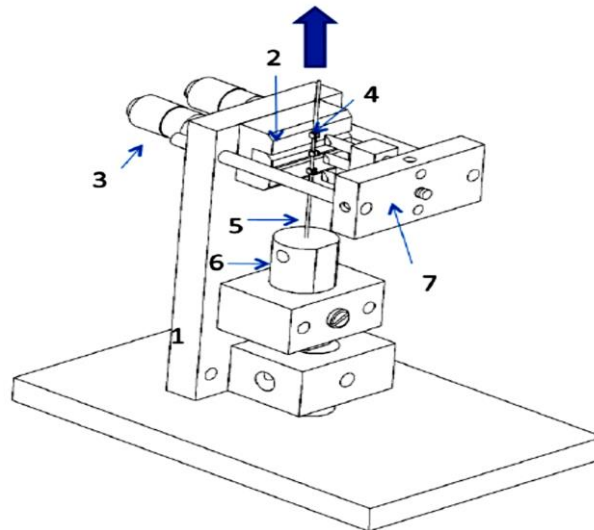


Figura 5 : O aparelho de teste consiste em 1) placa de base 2) hastes de aço endurecido 3) microparafusos 4) bráquetes 5) sessão do fio 6) peso morto 7) garfo posicionado. A seta larga na parte superior aponta para a direção da célula de carga de Reznikov et al. (2010)

O bráquete foi fixado em um pedestal de acrílico que foi ligado em um estágio ajustável para permitir o posicionamento adequado na guia de Teflon. Esse guia aplica uma força de 500 g na interface do bráquete-fio através de um peso morto que foi conectado no guia. Um motor elétrico puxa o fio contra o bráquete a uma velocidade de 23 mm/min. A célula de carga grava a força requerida pelo movimento. O esquema da máquina pode ser visto na Fig. (6).

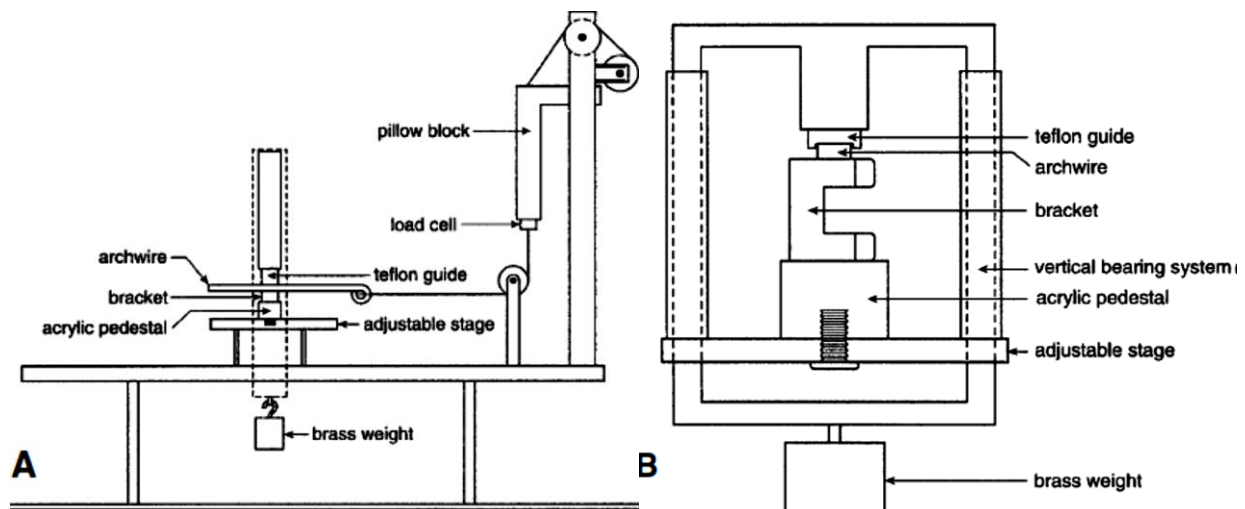


Figura 6 : A) Esquema representativo do aparato de teste B) vista detalhada do local de posicionamento da amostra de Michelberger *et al.* (2000)

5. DISCUSSÕES

No teste realizado por Rapiejko et al. (2009), a mudança da frequência devido a limitação do equipamento pode ocasionar distorções nos resultados. Uma maior frequência no movimento de deslizamento ocasiona aumento da temperatura que pode modificar o processo de desgaste. Os gráficos obtidos são bem representativos por mostrar o comportamento da força de atrito em todos os estágios do deslizamento.

O ensaio de Stannard; Gau e Hanna (1986), não é expressivo da configuração *in situ* por não simular os movimentos e forças que ocorrem na boca. Porém os resultados que mostram o comportamento do par bráquete-fio são interessantes por serem contrários à ideia de que o sistema lubrificado sempre terá menor resistência ao movimento, fato este que foi comprovado pelo teste não ser verdadeiro, algumas combinações de materiais mostram ter menor coeficiente de atrito quando em condições secas.

A configuração usada por Clocheret et al. (2004) para disposição das amostras no ensaio é bem pertinente principalmente quando associada a técnica utilizada pelo autor Willems et al. (2001), que utilizou a mesma configuração e equipamento, porém com um recurso de alinhamento das amostras. Vários resultados estatísticos

relevantes como informação foram obtidos. No entanto os ensaios não foram praticados em ambiente lubrificado com saliva, acrescentando uma porcentagem de erro em relação ao ambiente real.

O arranjo do teste de Reznikov et al. (2010) e Michelberger et al. (2000) são um pouco distintos dos demais com relação ao sistema de tração do fio e posicionamento da amostra. Apesar de parecer bem eficiente este método, falharam em não representar a situação lubrificada.

6. CONCLUSÃO

O intuito de adotar materiais e *design* que forneçam melhor performance mecânica aos dispositivos utilizados na ortodontia, demandam testes que sejam representativos da conjuntura *in situ*.

Esta revisão bibliográfica aborda os testes pertinentes no estudo de atrito entre bráquetes e fios ortodônticos. As limitações e pontos positivos destes testes aqui expostos foram ponderados e conclui-se que um ensaio com estes objetivos deve apresentar alguns requisitos. São eles: movimentos que simulam a movimentação dos dentes e oclusões em um determinado período de tempo; equipamento adequado que permita simular as velocidades reais de deslocamento e mudanças na boca; ensaios a seco e lubrificados com saliva artificial; sistema eficiente de alinhamento das amostras, uma vez que o coeficiente de atrito muda se os corpos de prova estiverem desajustados; sistema que provoca o movimento relativo entre o bráquete e fio adaptado para a técnica; conjunto de instrumental de aquisição de dados calibrado para a configuração.

A elaboração de um teste de atrito por deslizamento com todos estes parâmetros influentes proporcionará resultados de alta confiabilidade e correspondência com o que ocorre na interação bráquete-fio na cavidade oral.

7. REFERÊNCIAS

- Budynas, Richard G.; J. K. Nisbett; Joseph E. Shigley. “Shigley's Mechanical Engineering Design”. New York: McGraw-Hill, Print, 2011.
- Clocheret, K.; Willems, G.; Carels, C.; Celis, J. P. “Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets”. The European Journal of Orthodontics, Vol. 26, Nº 2, 2004, pp. 163-170.
- Graber, L. W.; Vanarsdall, R. L.; Vig, K. W. L. “Ortodontia : Princípios e Técnicas Atuais”. Elsevier 2012. ISBN 9788535265163 8535265163.
- Hutchings, I. M.; Shipway, P. “Tribology: friction and wear of engineering materials”. 1992.
- Menezes, L. M. D.; Freitas, M. P. M.; Gonçalves, T. S. “Biocompatibilidade dos materiais em Ortodontia: mito ou realidade?”. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, Vol. 14, 2009, pp. 144-157. ISSN 1415-5419.
- Michelberger, D. J.; Eadie, R. L.; Faulkner, M. G.; Glover, K. E.; Prasad, N. G.; Major, P. W. “The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state”. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 118, Nº 6, 2000, pp. 662-674. ISSN 0889-5406.
- Pacheco, M. R.; Oliveira, D. D.; Smith Neto, P.; Jansen, W. C. “Avaliação do atrito em braquetes autoligáveis submetidos à mecânica de deslizamento: um estudo *in vitro*”. Dental Press Journal of Orthodontics, Vol. 16, 2011, pp. 107-115. ISSN 2176-9451.
- Rapiejko, C.; Fouvry, S.; Grosgeat, B.; Wendler, B. “A representative ex-situ fretting wear investigation of orthodontic arch-wire/bracket contacts”. Wear, Vol. 266, Nº 7–8, 2009, pp. 850-858. ISSN 0043-1648.
- Reznikov, N.; Har-Zion, G.; Barkana, I.; Abed, Y.; Redlich, M. “Measurement of friction forces between stainless steel wires and “reduced-friction” self-ligating brackets”. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 138, Nº 3, 2010, pp. 330-338. ISSN 0889-5406.
- Sajewicz, E.; Kulesza, Z. “A new tribometer for friction and wear studies of dental materials and hard tooth tissues”. Tribology International, Vol. 40, Nº 5, 2007, pp. 885-895. ISSN 0301-679X.
- Schemann, F. M.; Cotrim-Ferreira, F.; Strevia, A. M.; Chaves, AVOA.; Cotrim-Ferreira, A. “Comparative analysis of the load / deflection of NiTi conventional and termoativados of retangular section arches”. Dental Press J Orthod, Vol. 17, Nº 3, May-June 2012, pp. 35.e1-6.
- Stannard, J. G.; Gau, J. M.; Hanna, M. A. “Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions”. American Journal of Orthodontics, Vol. 89, Nº 6, 1986, pp. 485-491. ISSN 0002-9416.
- Upadhyay, D.; Panchal, M. A.; Dubey, R.; Srivastava, V. “Corrosion of alloys used in dentistry: a review”. Materials Science and Engineering. Vol. 432, Nº 1, 2006, pp. 1-11. ISSN 0921-5093.
- Willems, G.; Clocheret, K.; Celis, J. P.; Verbeke, G.; Chatzicharalampous, E.; Carels, C. “Frictional behavior of stainless steel bracket-wire combinations subjected to small oscillating displacements”. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 120, Nº 4, 2001, pp. 371-377. ISSN 0889-5406.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.