



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

DANILO HARDMAN JÚNIOR

**EFEITO DAS IRRADIAÇÕES ULTRAVIOLETA (UV) E *LIGHT*
EMITTING DIODE (LED) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS
ALINHADORES TRANSPARENTES DE POLIURETANO (PU)**

2022

DANILO HARDMAN JÚNIOR

**EFEITO DAS IRRADIAÇÕES ULTRAVIOLETA (UV) E *LIGHT EMITTING DIODE*
(LED) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ALINHADORES
TRANSPARENTES DE POLIURETANO (PU)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA E TECNOLOGIA APLICADA À ODONTOLOGIA.

Área: Inovação tecnológica multidisciplinar com ênfase em odontologia. Linha de pesquisa: Inovação tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kennety Silva Formiga

Coorientador: Prof. Dr. Celestino José Prudente Nóbrega

São José dos Campos

2022

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2022]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Hardman Jr, Danilo

Efeito das irradiações ultravioleta (UV) e light emitting diode (LED) nas propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes de poliuretano (PU) / Danilo Hardman Jr. - São José dos Campos : [s.n.], 2022.
46 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2022.

Orientador: Jorge Kennety Silva Formiga

Coorientador: Celestino José Prudente Nóbrega

1. Alinhadores transparentes. 2. Poliuretano. 3. Irradiação ultravioleta. 4. Irradiação LED. 5. Teste de carga. I. Formiga, Jorge Kennety Silva, orient. II. Nóbrega, Celestino José Prudente, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Kennety Silva Formiga (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. João Maurício Ferraz da Silva

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Felipe Gomes Benício

Universidade Brasil

Instituto de Ciência e Educação

Campus de São Paulo

São José dos Campos, 22 de agosto de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Izabel e às minhas filhas Laurinha e Heleninha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que Ele colocou no meu caminho para que me ajudassem a concluir este trabalho.

RESUMO

Hardman Júnior D. Efeito das irradiações ultravioleta (UV) e *light emitting diode* (LED) nas propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes de poliuretano (PU). [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2022.

O objetivo do presente estudo *in vitro* é investigar possíveis alterações nas propriedades mecânicas de alinhadores transparentes de poliuretano (PU). Em um estudo piloto, amostras de alinhadores foram submetidas à Espectroscopia Raman antes e depois de irradiações de UV e de LED, e os resultados demonstraram evidente alteração da estrutura molecular. Em virtude disso, foi levantada a hipótese de que as radiações também provoquem alterações nas propriedades mecânicas. Foram confeccionados trinta alinhadores, pela empresa Align Technology Inc. (Invisalign®), distribuídos em três grupos de dez alinhadores cada. Um grupo controle não sofreu irradiação, e os outros dois grupos foram irradiados: um com radiação UV dentro de uma câmara construída para esse tipo de experimento e um terceiro grupo com radiação LED por fotopolimerizador específico. Os grupos foram definidos, as irradiações foram efetuadas sob sigilo por um operador e as identificações, armazenadas em envelopes lacrados, somente foram reveladas após a conclusão dos testes e tabulação dos dados obtidos. Para avaliação das propriedades mecânicas, neste caso resistência à deformação, utilizou-se uma máquina de ensaio universal para o teste de carga. Os alinhadores foram preenchidos com gesso, com um alívio que deixou livres as áreas a serem testadas. O teste de tensão mostrou que tendo como referência o grupo controle, os alinhadores submetidos à radiação UV tornaram-se menos rígidos e os submetidos à radiação LED tornaram-se mais rígidos. O teste de H de Kruskal-Wallis foi realizado e evidenciou não haver diferença estatisticamente significativa na carga aplicada nas amostras dos diferentes grupos. O mesmo teste foi utilizado para avaliar a diferença entre a deformação ocorrida e o módulo de elasticidade nos três grupos. A hipótese nula foi rejeitada em ambos os testes, considerando o nível de 5% de significância, o que assegura que há uma diferença significativa entre os três grupos quanto à irradiação de UV ou LED. Ainda assim, para uma avaliação mais minuciosa utilizou-se o teste de Mann-Whitney comparando os grupos dois a dois. O resultado apontou que as irradiações aplicadas neste estudo são responsáveis pelas diferenças estatísticas apresentadas.

Palavras-chave: alinhadores transparentes; aparelhos ortodônticos removíveis; poliuretano; análise espectral Raman; irradiação ultravioleta; irradiação LED; teste de tensão; teste de carga.

ABSTRACT

Hardman Junior D. Effect of ultraviolet (UV) and light emitting diode (LED) irradiations on the mechanical properties of transparent polyurethane (PU) aligners [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2022.

The aim of the present in vitro study is to investigate possible changes in the mechanical properties of transparent polyurethane (PU) aligners. In a pilot study, specimens of aligners were subjected to Raman Spectroscopy before and after UV and LED irradiation, and the results showed evident alteration of the molecular structure. Because of this, it was hypothesized that the radiations also cause changes in the mechanical properties. Thirty aligners were made by Align Technology Inc. (Invisalign®), distributed in three groups of ten aligners each. A control group was not irradiated, and the other two groups were irradiated: one with UV radiation inside a chamber built for this type of experiment, and the third group with LED radiation by a specific photopolymerizer. The groups were defined, the irradiations were done under confidentiality by an operator and the identifications, stored in sealed envelopes, were only revealed after the completion of the tests and tabulation of the data obtained. To evaluate the mechanical properties, in this case resistance to deformation, a universal testing machine was used for the load test. The aligners were filled with plaster, with a relief that left free the areas to be tested. The tension test showed that taking the control group as reference, the aligners submitted to UV radiation became less rigid and those submitted to LED radiation became more rigid. The Kruskal-Wallis H test was performed and showed that there was no statistically significant difference in the load applied to the samples of the different groups. The same test was used to evaluate the difference between the deformation occurred and the modulus of elasticity in the three groups. The null hypothesis was rejected in both tests, considering the 5% significance level, which ensures that there is a significant difference between the three groups regarding UV or LED irradiation. Even so, for a more detailed evaluation the Mann-Whitney test was used, comparing the groups two by two. The result pointed out that the irradiations applied in this study are responsible for the statistical differences presented.

Keywords: clear aligners; removable orthodontic appliances; polyurethanes; Raman spectral analysis; ultraviolet irradiation; LED irradiation; tension test; load test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema demonstrativo dos resultados da Espectroscopia Raman.....	18
Figura 2 - Espectrômetro Raman Dispersivo modelo Dimension P-1.....	22
Figura 3 - Resultados dos testes das amostras piloto com irradiação UV.....	23
Figura 4 - Resultados dos testes das amostras piloto com irradiação LED.....	24
Figura 5 - Câmara UV.....	25
Figura 6 - Um dos grupos de alinhadores posicionados na Câmara UV	25
Figura 7 - Fotopolimerizador LEDX T2400.....	26
Figura 8 - Imagens do posicionamento e demonstração da irradiação LED	26
Figura 9 - Máquina de ensaio universal Instron Emic DL 2000	27
Figura 10 - Modelos com alinhadores em posição na máquina de ensaio universal	28
Figura 11 - Diagrama esquemático tensão-deformação correspondente à deformação elástica para ciclos de carga.....	29
Figura 12 - Resultados da deflexão, em mm, nos grupos controle, UV e LED.....	32
Figura 13 - Resultados do módulo de elasticidade (E), em N/mm, nos grupos controle, UV e LED.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3 PROPOSIÇÃO	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Amostras piloto e Espectroscopia Raman.....	22
4.2 Amostras controle e experimentais - Radiações UV e LED.....	24
4.3 Máquina de ensaio universal.....	27
5 RESULTADO	30
6 DISCUSSÃO	33
6.1 Novas possibilidades clínicas com o melhor controle das propriedades mecânicas	33
6.2 Biocompatibilidade do poliuretano aos tecidos bucais ou risco de citotoxicidade	36
6.3 Diferença entre alinhadores estampados X alinhadores impressos	39
6.4 Limitações e possibilidades a partir deste estudo.....	40
7 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

A evolução da odontologia, e mais especificamente da ortodontia, caminha com o avanço dos materiais que a envolve e segue a linha de raciocínio na qual o advento dos alinhadores transparentes revolucionou o mercado ortodôntico.

O forte apelo estético, a possível vantagem de conforto e a praticidade do uso fizeram com que pacientes e ortodontistas se interessem cada vez mais por essa tecnologia, o que justifica o crescente número de pesquisas sobre seus materiais e propriedades (Rodrigues, Neumann, 2003).

A odontologia digital chegou e agora cobre todos os campos de tratamento dentário. Na ortodontia com alinhadores digitais, em particular, o tratamento pode ser realizado por ortodontistas ou clínicos gerais. Para o bem das exigências estéticas dos pacientes, tornou-se popular em todo o mundo a prática ortodôntica como alternativa estética ao aparelho fixo (Kravitz *et al.*, 2009).

Desde que Kesling em 1945 introduziu pela primeira vez o uso de um aparelho ortodôntico removível flexível para pequenos movimentos dentais como uma alternativa aos tratamentos com aparelhos fixos, foi postulado que o serviço ortodôntico é certamente um serviço pessoal, e que os profissionais podem personalizar ainda mais o tratamento, desenvolvendo uma forma de arco distinta e arranjo de dentes de acordo com cada indivíduo em tratamento. Com o padrão predeterminado é possível para o operador deslocar os dentes dentro do razoável para qualquer posição desejável e, na proporção de sua habilidade, dar a cada caso um toque artístico distinto (Kesling, 1945).

No mundo inteiro a terapia com alinhadores transparentes, ou aparelhos termoplásticos, tornou-se uma alternativa cada vez mais popular para tratamentos de maloclusões de leve à moderada durante os últimos vinte anos (Fang *et al.*, 2020).

Em 1999, Align Technology Inc. (San Jose, CA, EUA) introduziu uma nova geração de aparelhos em ortodontia: uma alternativa removível à terapia com aparelhos fixos na correção da maloclusão, comercializada sob o nome Invisalign®.

A técnica Invisalign® dá aos pacientes uma escolha estética no seu tratamento ortodôntico que todos os ortodontistas podem facilmente implementá-la em seus consultórios (*Wong et al.*, 2002).

Os alinhadores ortodônticos têm, indiscutivelmente, uma miríade de vantagens em relação aos aparelhos ortodônticos fixos, incluindo melhor estética, menos desconforto ao paciente, manutenção periodontal mais fácil (*Azaripour et al.*, 2015), menos tempo na cadeira e menos visitas de emergência ao dentista (*Borda et al.*, 2020; *Fujiyama et al.*, 2014).

Já para *Gu et al.* (2017) , os aparelhos fixos melhoram eficazmente as maloclusões e aumentam a probabilidade de alcançar melhores respostas ao tratamento ortodôntico. De acordo com *Graf et al.* em (2021) , ainda não está clara a indicação de alinhadores para casos mais severos, como apontados nas revisões sistemáticas de *Papadimitriou et al.* (2018) e *Pithon et al.* (2019) .

Para que os alinhadores atinjam seus objetivos em termos de movimentação dentária, é importante que os materiais utilizados para a confecção desses aparelhos ortodônticos sejam selecionados após uma caracterização detalhada das suas propriedades mecânicas no ambiente intraoral simulado. Por outro lado, o processo de entrega de força no sistema dente-alinhador ainda não é um processo totalmente compreendido (*Barone et al.*, 2017).

Em estudo com pacientes portadores de maloclusão classe I de Angle tratados com Invisalign® a conclusão foi que os movimentos de intrusão de incisivos e correção de rotação de caninos foram significativamente imprecisos de acordo com a sobreposição dos modelos virtuais iniciais e dos previstos pelo ClinCheck (Align Technology) para o final do tratamento (*Charalampakis et al.*, 2018).

Segundo *Ryu J. et al.*, do ponto de vista clínico os resultados apontam que os alinhadores ortodônticos transparentes devem ser cuidadosamente selecionados dependendo do tratamento necessário, porque alguns podem apresentar uma diminuição significativa das forças de flexão após a termoformagem e deformação permanente durante o tratamento (*Ryu et al.*, 2018).

Os alinhadores são úteis para o fechamento de pequenos espaços, correção das rotações anteriores e das cristas marginais com desnivelamento mas os

alinhadores transparentes têm certas restrições em termos de alcançar os mesmos resultados que os tradicionais aparelhos ortodônticos fixos. Mais estudos e melhoria do *design* ainda são necessários para o aprimoramento desse tipo de terapia (Shetty, Shaikh, 2021).

Segundo Djeu G e colaboradores, o resultado do tratamento ortodôntico, tanto com alinhadores como com aparelhos fixos, só pode ser bom com o domínio da habilidade do ortodontista para cada método. É necessário tempo para um praticante desenvolver conhecimentos especializados com qualquer aparelho, especialmente se for uma novidade (Djeu *et al.*, 2005).

A exposição a produtos químicos presentes nos alimentos e bebidas, bem como as distorções ocorridas nos alinhadores no momento da instalação e remoção do aparelho, ou até mesmo as consequências de bruxismo ou parafunções durante o tratamento ortodôntico, provavelmente dificultam a manutenção das forças exercidas pelos alinhadores.

Assim, apesar das vantagens, ainda é necessidade de que os alinhadores transparentes entreguem a mesma força ideal semelhante aos arcos de níquel-titânio e aço utilizados nos aparelhos fixos, tornando necessárias não só as pesquisas para avaliação da qualidade dos materiais utilizados na fabricação desses aparelhos, mas também se há possibilidade de melhorá-los mesmo sem alteração da manufatura empregada.

Na avaliação das alterações nos materiais, no caso dos alinhadores transparentes, por exemplo, de acordo com o trabalho de Rodrigues e Neumann (2003) que evidenciou especial atenção ao processo de fotopolimerização (ou foto cura) e além disso, à avaliação cinética destes processos, colocou os ensaios de resistência à tração, à deformação e dureza como os mais utilizados para medida de propriedades macroscópicas, e ainda técnicas como espectroscopia Raman para avaliação microscópicas, devido ao fato deste tipo de espectroscopia além de não invasiva e rápida é reconhecida pela alta precisão.

Nos dias de hoje a espectroscopia para avaliação de uma amostra se faz pela irradiação *LASER* (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que se dispersa por uma rede de difração no espectrômetro e no detetor, convertendo a

intensidade da luz em sinais elétricos que são interpretados por um *software* de computador. O espalhamento da luz, que constitui uma onda eletromagnética, ocorre quando algum obstáculo em sua trajetória de propagação interage com este obstáculo, dispersando-se em diversas direções (Rodrigues, Neumann, 2003).

O efeito Raman recebeu o nome do físico cientista indiano Chandrasekhara Ventaka Raman que o descobriu em 1928, e é agora uma importante ferramenta de pesquisa com aplicação em física, química, biologia e engenharia.

“Por meio da análise de espectroscopia Raman, é possível se avaliar alterações na estrutura molecular obtendo respostas, comparando-se se as energias finais (emitidas) são iguais, menores ou maiores que as energias iniciais (incidentes)”. (Raman, 1928, p.501) *apud* (Somerville *et al.*, 2010).

A respeito das irradiações utilizadas nesse estudo, temos a luz ultravioleta (UV) com comprimento de onda entre 200 e 400nm, e para que haja efeitos dessa radiação em polímeros deve-se levar em consideração a combinação de alguns fatores, até que ocorra a formação de radicais livres que possam afetar as propriedades mecânicas (Giroto, 2017).

E os LED, que são fontes de luz no estado sólido, emitidos por semicondutores de Nitreto de Gálio, marcadamente diferente de uma lâmpada halógena, que utiliza filamentos que esquentam, com a grande vantagem de a energia luminosa azul produzida se concentrar em uma estreita faixa do espectro visível (400 a 500 nm), onde ocorre mínima geração de calor (Stahl *et al.*, 2000). Trata-se, portanto, de uma técnica reproduzível em consultório.

Face às necessidades expostas e aos resultados obtidos na amostra piloto com a Espectroscopia Raman, a presente pesquisa objetiva avaliar *in vitro*, por meio da utilização da máquina de ensaio universal, as possíveis alterações das propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes que possam trazer vantagens ao tratamento ortodôntico.

Não foi encontrada na literatura qualquer publicação científica que tenha estudado o efeito da radiação UV ou LED sobre alinhadores ortodônticos de PU relacionado com alteração na sua estrutura molecular, tampouco com suas propriedades mecânicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O primeiro relato que se tem documentado do uso de aparelhos ortodônticos removíveis flexíveis remonta ao ano de 1945, quando Kesling (1945) confeccionou esse tipo de aparelho para pequenos movimentos dentais, seguindo os mesmos princípios de terapia convencional ortodôntica como uma alternativa aos tratamentos com aparelhos fixos.

Para o autor, o serviço ortodôntico é certamente pessoal e pode ser personalizado ainda mais, desenvolvendo uma forma de arco distinta e arranjo de dentes de acordo com cada indivíduo em tratamento. Embora com padrão predeterminado, é possível para o operador deslocar os dentes dentro do razoável para qualquer posição desejável e na proporção de sua habilidade artística, para dar a cada caso um toque artístico distinto.

Desde então, aparelhos ortodônticos removíveis termoplásticos ou alinhadores transparentes vêm sendo alvo de uma miríade de pesquisas para aprimoramento de suas características e propriedades. Outro forte apelo que alavanca as pesquisas é o interesse comercial por esse tipo de aparelho, tanto de pacientes como de ortodontistas por este tipo de aparelho, por suas características estéticas e funcionais como transparência, facilidade de instalação e remoção e ainda o conforto.

Segundo Jeremiah *et al.* (2011), a percepção social de jovens adultos que usam aparelhos ortodônticos termoplásticos tende a ser mais atraente do que os convencionais aparelhos fixos.

Fang *et al.* (2020) citaram que “a terapia com alinhadores transparentes se tornou uma alternativa de tratamento cada vez mais popular para tratamento de maloclusões de leve a moderada durante os últimos 20 anos”.

Após a avaliação da delaminação dos vinte alinhadores pesquisados que foram comparados antes e depois do uso em tratamento, constatou-se o risco de dispersão de oligoelementos que podem ser tóxicos à saúde do paciente, justificando o aumento dos estudos dessa modalidade de tratamento.

Pithon *et al.* (2019) concluíram que alinhadores são eficazes na correção do apinhamento dentário, mas existem limitações presentes na intrusão e na

extrusão de dentes, não promovendo um contato oclusal adequado.

No sistema Invisalign® observa-se maior recorrência de apinhamento, se comparado ao da ortodontia fixa convencional, além do que há pouca diferença na duração do tratamento em comparação com os dois tipos de aparelhos.

Djeu *et al.* (2005) concluíram que alinhadores Invisalign® não tratavam maloclusões tão bem quanto aparelhos fixos nessa amostra. Invisalign® era especialmente deficiente na sua capacidade de corrigir grandes discrepâncias anteroposteriores e contatos oclusais.

Zheng *et al.* em (2017) realizaram uma revisão sistemática da literatura ortodôntica para averiguar eficiência, eficácia e estabilidade do resultado do tratamento com alinhadores transparentes em comparação com tratamento com braquetes convencionais.

O levantamento foi feito por pesquisa eletrônica com total de 252 participantes satisfazendo os critérios de inclusão, em quatro situações especificadas. Constatou-se que os alinhadores transparentes apresentaram uma vantagem significativa em relação ao tempo de cadeira e à duração de tratamento se considerados os casos de níveis de severidade leve e moderados. Nenhuma diferença significativa foi encontrada em relação à estabilidade nem às características oclusais finais.

Rossini *et al.* (2015) avaliaram evidências científicas relacionadas à eficácia do tratamento com alinhadores no controle da movimentação ortodôntica. Após pesquisa em diversos bancos de dados, de 2000 a 2014, identificaram esses alinhadores como relevantes, minimizando o risco de viés.

Em um estudo de 11 artigos finais: dois ensaios clínicos randomizados, cinco prospectivos não randomizados e quatro retrospectivos não randomizados, o risco de viés moderado apresentou-se em seis artigos e incerto para os outros.

Os autores concluíram que alinhadores são eficazes no controle da intrusão anterior, mas não na extrusão anterior; são eficazes no controle das inclinações vestibulo lingual posteriores, mas não nas anteriores; são eficazes no controle de corpo dos molares superiores e não eficazes no controle de rotação de dentes arredondados. Esses dados, porém, devem ser interpretados com cautela e individualizados.

Kohda *et al.* (2013) mediram as forças entregues por aparelhos termoplásticos feitos de três materiais e investigaram os efeitos das propriedades mecânicas em relação à espessura do material e à quantidade de força de ativação. Utilizaram-se de duas espessuras de cada um dos três materiais (Duran® Scheu Dental, Iserlohn, Germany; Erkodur® Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Germany; e Hardcast® Scheu Dental).

Os resultados submetidos a análises estatísticas mostraram que o Hardcast teve o módulo de elasticidade e dureza significativamente mais baixo que os outros dois, cujas propriedades não foram diferentes entre eles. Já os aparelhos fabricados com maior espessura, de 0,75 mm ou 0,80 mm, sempre produziram força maior que os fabricados com material mais fino, de 0,40 mm ou 0,50 mm.

Em relação à quantidade de força, os aparelhos com maior ativação (1,00 mm) produziram força menor do que aqueles com a ativação menor (0,50 mm) exceto para o Hardcast. Concluiu-se, nesse estudo, que os aparelhos termoplásticos dependem do material e da espessura e da quantidade de força para desempenharem o seu papel no tratamento.

Lombardo *et al.* (2012) em estudo investigativo constataram que alinhadores transparentes devem ser capazes de exercer forças leves e constantes durante todo seu uso, a exemplo dos arcos empregados nos tratamentos com aparelhos ortodônticos convencionais fixos, mas geralmente é difícil consegui-las.

Barbagallo *et al.* (2008) realizaram um estudo para explorar uma nova metodologia pra medir a magnitude e identificar o padrão de força transmitida por aparelhos termoplásticos removíveis. Em oito pacientes com maloclusão moderada, tempo de tratamento de oito semanas e ativação dos aparelhos determinadas em 0,50 mm foi utilizado o filme Pressurex para medir a pressão causada pelos aparelhos. Três medições foram realizadas para cada paciente e das análises feitas constatou-se que as forças são exercidas em um alto nível no início seguido por uma rápida diminuição.

Kwon *et al.* (2008) avaliaram as forças entregues e a resistência dos materiais dos aparelhos termoplásticos para determinar mudanças em suas propriedades. Utilizaram três tipos de materiais, realizando o teste de recuperação e flexão de três pontos e em seguida os procedimentos de ciclagem. A dureza Vickers foi medida para determinar as mudanças após a ciclagem ou ciclos de carga

repetidos. Obtiveram como resultado que o material mais fino (0,50 mm) fornece mais energia que os mais espessos (1,00 mm) e o efeito de deflexão repetida durante o tratamento deve ser considerado.

Segundo Benício (2006), o espectro Raman é obtido em laboratório a partir da luz monocromática de um *LASER* que incide sobre uma amostra a ser analisada. A luz espalhada dispersa por uma rede de difração no espectrômetro e no detetor converte a intensidade de luz em sinais elétricos, que são interpretados por um *software* de computador integrado ao sistema de detecção. Uma sequência de filtros instalada na entrada do espectrômetro é utilizada para rejeitar comprimentos de onda não desejados. O *Charge Coupled Device* (CCD) da câmara de espectrômetro, responsável por receber os diferentes comprimentos de onda de um feixe luminoso e transformar em sinais, é refrigerado por nitrogênio líquido com a finalidade de reduzir o ruído térmico de fundo, ou seja, sinais indesejados que possam alterar os resultados.

Para entender o fenômeno de interação radiação-matéria que está na base da espectroscopia, são necessários dois conceitos, relacionados com as propriedades da luz e com a natureza da matéria:

- 1° A luz, ou radiação eletromagnética, tem energia diferente consoante a sua frequência, por exemplo, na região do visível a energia da radiação aumenta ao longo das cores do arco-íris, do vermelho até ao violeta. A radiação infravermelha tem menor energia que o vermelho, e a luz ultravioleta têm energia superior ao violeta.
- 2° Os sistemas atômico-moleculares que constituem a matéria apresentam estados de energia discretos, que podem ser vistos como os degraus de uma escada: cada degrau é um nível de energia e é possível subir/descer de nível recebendo/libertando a energia correspondente à altura do degrau, mas não é possível estar a meio caminho, entre degraus.

Se os níveis de energia fossem contínuos, a analogia seria com uma rampa onde é possível parar em qualquer local, e dependendo da natureza e composição da amostra, os “degraus” apresentam diferentes alturas, ou seja, sistemas atômico-moleculares diferentes apresentam níveis de energia com separações diferentes.

Conhecer a separação entre os níveis de energia permite a compreensão da estrutura e das propriedades de uma dada amostra (Ribeiro Claro, 2017).

Quanto à avaliação pela espectroscopia, Raman *et al.* em 1928 no artigo intitulado “*A new type of secondary Radiation*” postularam a descoberta do efeito que levou seu nome, e pode-se dizer que agora existe uma importante ferramenta de pesquisa com aplicação nas áreas da física, química, biologia e engenharia, entre outras.

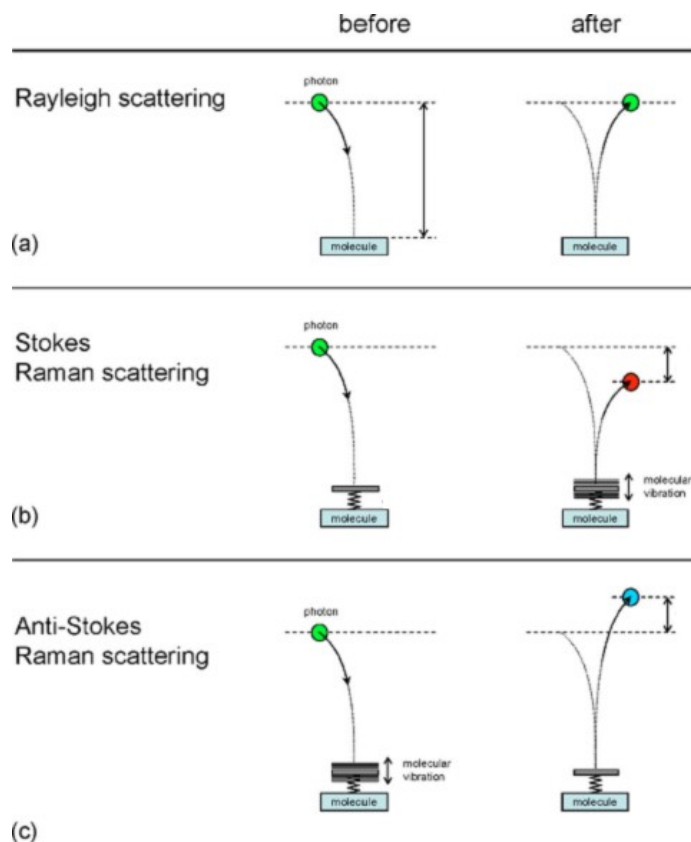
Ainda em relação à espectroscopia, mediante a análise do espectro da luz espalhada de forma inelástica, podem-se determinar os níveis de energia de átomos ou moléculas. O efeito do espalhamento inelástico, descoberto por Raman, permitiu a obtenção de valiosas informações relativas à estrutura molecular de um composto pela análise não destrutível dessa estrutura. Desde a sua descoberta, o efeito despertou interesse de pesquisadores que procuravam explicar o seu mecanismo (Benício, 2006).

Por meio da análise de espectroscopia Raman é possível avaliar a dinâmica da reação pelas alterações na estrutura molecular, obtendo respostas em basicamente três situações:

- a) espalhamento Rayleigh ou espalhamento elástico, no qual o fóton, as partículas elementares que compõem a luz - não possui massa e transporta energia final ou emitido é igual ao fóton inicial ou incidente;
- b) espalhamento Raman ou inelástico Stokes, quando o fóton emitido é menor que o incidente, ou Anti-Stokes, quando o fóton emitido é maior que o incidente (John, George, 2017 ; Somerville et al., 2010).

A Figura 1 traz o esquema demonstrativo dos resultados da espectroscopia Raman.

Figura 1 – Esquema demonstrativo dos resultados da Espectroscopia Raman



Fonte: adaptado pelo autor de Somerville et al. 2010

Memè *et al.* (2021) também pesquisaram alinhadores transparentes com a justificativa da sua ascensão no mercado ortodôntico, e avaliaram as alterações do material durante o uso diário que interfeririam na redução das forças, comprometendo o movimento desejado.

No estudo utilizaram o espectroscópio acoplado a ferramentas quimiométricas e realizaram a exposição *in vitro* dos alinhadores a diferentes tipos de contaminação, como café, chá, refrigerante de cola e radiação ultravioleta (UV). Constataram que amostras de café e chá exibiram a principal alteração da coloração dos aparelhos, porém as propriedades químicas permaneceram inalteradas. Apesar da utilização da radiação UV nesse estudo a sua implicação se resumiu à indução da alteração de cor e não como mecanismo de avaliação estrutural.

Daniele *et al.* (2020) enfatizaram a facilidade de inserção e remoção dos alinhadores transparentes na cavidade oral sem afetar a mastigação e a estética dos pacientes. O estudo visou a caracterização físico-química e mecânica dos materiais

termoplásticos disponíveis em forma de disco utilizados para confecção dos alinhadores transparentes.

As avaliações foram realizadas por testes de tração e análise dinâmico-mecânica, radiação de raios X, calorimetria diferencial de varredura, espectroscopia infravermelha de Fourier (FTIR-ATR) e análise de absorção de água.

Os discos foram investigados antes e depois da imersão em bebidas com coloração, em vinho tinto, café, nicotina e saliva artificial, em termos de variação de cor, transparência, modificações microscópicas da superfície por meio da colorimetria, absorvência UV-VIS e analisados por microscopia eletrônica de varredura (SEM).

O resultado apontou que o poliuretano Zendura® (Zendura, Bay Materials LLC, Fremont, CA, USA) exibiu a maior cristalinidade e a maior resistência mecânica e térmica, enquanto o polietileno tereftalato de etileno glicol Erkodur® (Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler Deutschland) apresentou melhor transparência e menor capacidade de absorção de água.

Cabe ressaltar que o excesso de exposição à radiação UV pode levar à modificação das propriedades mecânicas pelo enrijecimento do material, dada a formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, podendo desencadear a formação de trincas e fissuras (Rodrigues, Neumann, 2003).

Lombardo *et al.* em 2015 avaliaram e compararam a absorbância e a transmitância de três tipos de alinhadores ortodônticos antes e depois de ciclos de envelhecimento *in vitro*. Foram nove amostras de três marcas diferentes Invisalign®, Align Technology, Santa Clara, CA, USA; All-In®, Micerium, Avegno, GE, Italy; F22 Aligner®, Sweden & Martina, Due Carrare, PD, Italy) que passaram pela análise de absorbância e transmitância antes do envelhecimento a uma temperatura constante em saliva artificial suplementada com corante alimentar por dois ciclos de 14 dias cada. Os resultados mostraram que todos os alinhadores tiveram os valores de absorbância diminuídos, mas não significativos. Os alinhadores F22 foram os que se mostraram mais transparentes tanto antes quanto depois.

A luz ultravioleta (UV) pode ser classificada em três tipos: UV-A, UV-B e UV-C. Raios UV-A têm um comprimento de onda de 320 a 400 nm; os UV-B estão entre 290 e 320 nm, e raios UV-C se encontram num espectro entre 200 e 290 nm. Os

efeitos da radiação em polímeros vão depender de três fatores: a dose de radiação por unidade de tempo e de área, temperatura e presença ou não de oxigênio.

De acordo com a dose da radiação em um determinado tempo, haverá a formação de radicais livres e em seguida a cisão de cadeias, o que pode afetar as propriedades mecânicas (Giroto, 2017), porém como são radiações não ionizantes, alteram somente as estruturas moleculares e não tem capacidade de alterar o estado de excitação dos átomos, diferentemente das radiações ionizantes, como o raio x, por exemplo, que têm energia suficiente para mover elétrons de átomos de determinados materiais.

O LED é um dispositivo semicondutor de estado sólido que pode converter diretamente energia elétrica em luz visível, e também é categorizado como emissor de radiação não ionizante. Como fonte de iluminação de quarta geração, tem melhor economia de energia, melhor proteção ambiental, maior taxa luminosa, maior velocidade de arranque e maior vida útil (Liu *et al.*, 2022).

O determinante do comprimento de onda da luz emitida pelo LED é o material utilizado como semicondutor. Para o LED azul aplicado na foto polimerização da resina os semicondutores são compostos de nitreto de gálio (InGan) e emitem, na região do espectro eletromagnético, entre 450 nm e 490 nm.

Os aparelhos tipo LED têm algumas vantagens além da geração mínima de calor. Esses aparelhos destacam-se também por terem longa vida útil sem significativa degradação do fluxo de luz com o passar do tempo, e a alta resistência aos atos de ligar e desligar durante o uso rotineiro (Stahl *et al.*, 2000).

3 PROPOSIÇÃO

Este estudo tem por objetivo avaliar alterações mecânicas em alinhadores transparentes, devidamente divididos em três grupos: um grupo controle, um grupo com irradiação UV e por fim outro grupo com irradiação LED, submetidos ao teste de carga na máquina universal.

A hipótese levantada, mediante a resposta inequívoca de alteração molecular demonstrada pela Espectroscopia Raman, é de que haja alteração das propriedades mecânicas, que ser equacionadas para favorecimento da distribuição de forças dos alinhadores durante o tratamento ortodôntico.

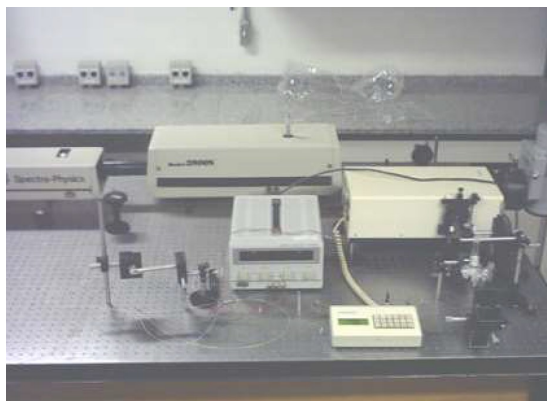
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostras piloto e Espectroscopia Raman

Primeiramente foram selecionados vinte alinhadores transparentes confeccionados para tratamento da arcada superior da marca *Invisalign®* (*Align Technology* - Santa Clara, Califórnia, USA) fabricados em PU, para formar os grupos-piloto.

Em seguida, foram submetidos à espectroscopia Raman (Espectrômetro Raman Dispersivo Portátil - modelo Dimension P-1 Lambda Solutions Inc. MA, EUA), conforme Figura 2, com excitação de diodo laser de 830nm, potência do laser 250 mW, rede de difração de 1200 linhas/mm e um CCD de 1300x100pixels, resolução de 2 cm^{-1} na faixa espectral de 400-1800 cm^{-1} , para avaliação de suas características espectrais iniciais e coleta de dados.

Figura 2 - Espectrômetro Raman Dispersivo modelo Dimension P-1

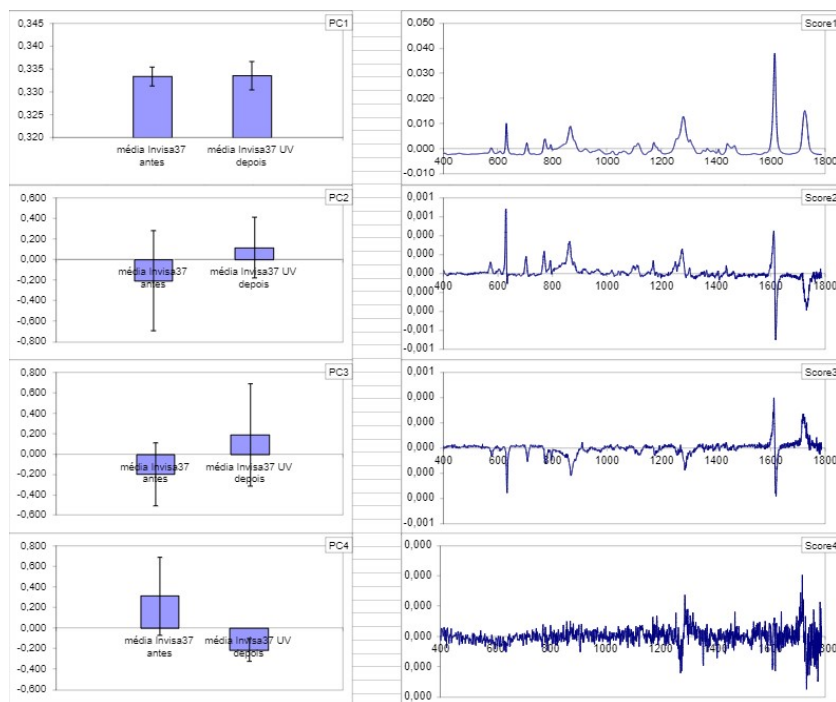


Fonte: Benício (2006).

Após a tabulação dos dados, os vinte alinhadores foram divididos em dois grupos de dez alinhadores cada. Um grupo foi colocado dentro de uma câmara construída para fins de pesquisa e submetido à irradiação UV por 60 minutos, com os seguintes parâmetros: UV-A (8 lâmpadas de 8W + UV-B (4 lâmpadas de 26W e 1

lâmpada de 15W), faixa de espectro 300-400nm, 4,3mW/cm², distância focal de 10cm. Estes resultados são mostrados na Figura 3.

Figura 3 - Resultados dos testes das amostras piloto com irradiação UV

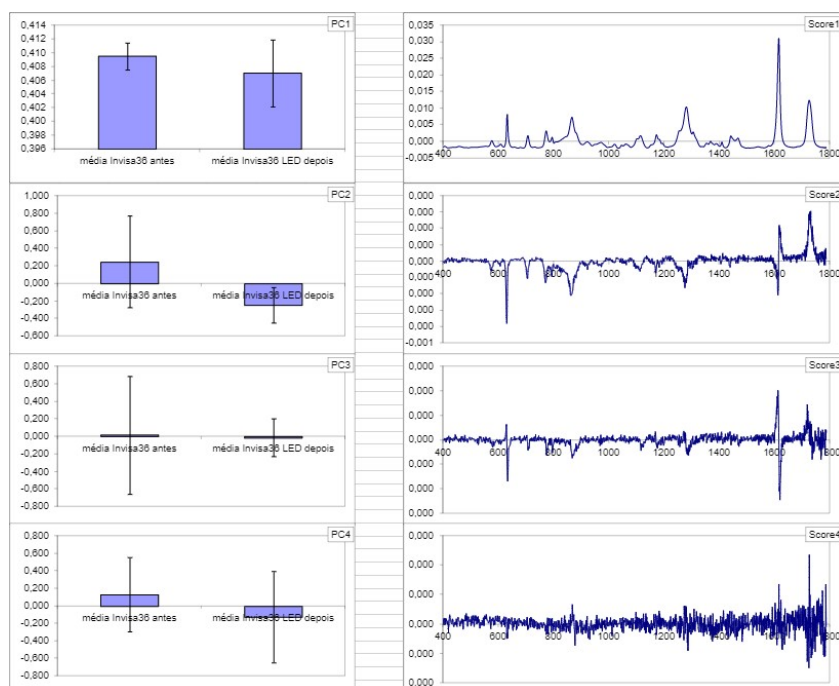


Fonte: elaborado pelo autor.

Em outro o grupo também com dez alinhadores, cada amostra recebeu a irradiação com LED (Fotopolimerizador LEDX-T2400 Dentmate Technology CO. LTD Taiwan, importado por Orthometric – Indústria e Comércio de Produtos Médicos e Odontológicos LTDA. Marília SP Brasil), cuja ponteira foi posicionada em contato com a superfície vestibular do alinhador correspondente na coroa do incisivo central superior direito por 240 segundos (6 ciclos de 40 segundos) na faixa de comprimento de onda 440-480nm; 800-1000mW/cm². Os resultados estão demonstrados na figura 4.

Ao final das irradiações todos os alinhadores foram novamente analisados pela espectroscopia Raman e seus dados tabulados e comparados com os resultados iniciais. Os espectros foram processados por uma rotina escrita no *software* Matlab 7.0.1 (The Mathworks, MA, EUA) para normalização e médias para evidenciar as diferenças entre eles.

Figura 4 - Resultados dos testes das amostras piloto com irradiação LED



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos nos testes das amostras piloto confirmaram de forma inequívoca a alteração estrutural, o que levou este estudo.

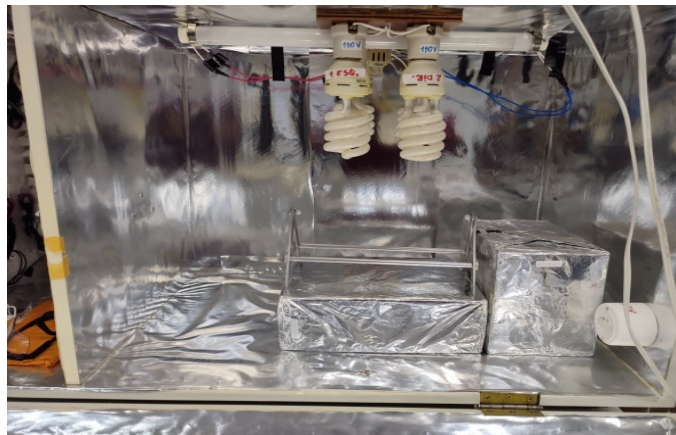
4.2 Amostras controle e experimentais - Radiações UV e LED

Para esta pesquisa foram confeccionados trinta alinhadores transparentes da marca *Invisalign®* (*Align Technology* - Santa Clara, Califórnia, USA), referentes à arcada superior e separados aleatoriamente por um operador em três grupos de dez alinhadores cada. No primeiro grupo não foi realizado qualquer procedimento, o qual ficou estabelecido como grupo controle.

O segundo grupo foi submetido à radiação UV por 60 minutos dentro de uma câmara construída especificamente para esse tipo de experimento (Bório *et al.*, 2016) de acordo com os seguintes parâmetros: UV-A (8 lâmpadas de 8W + UV-B (4 lâmpadas de 26W e 1 lâmpada de 15W); faixa de espectro 300-400nm; 4,3mW/cm²;

distância focal: 10cm (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Câmara UV



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6 - Um dos grupos de alinhadores posicionados na Câmara UV



Fonte: elaborado pelo autor.

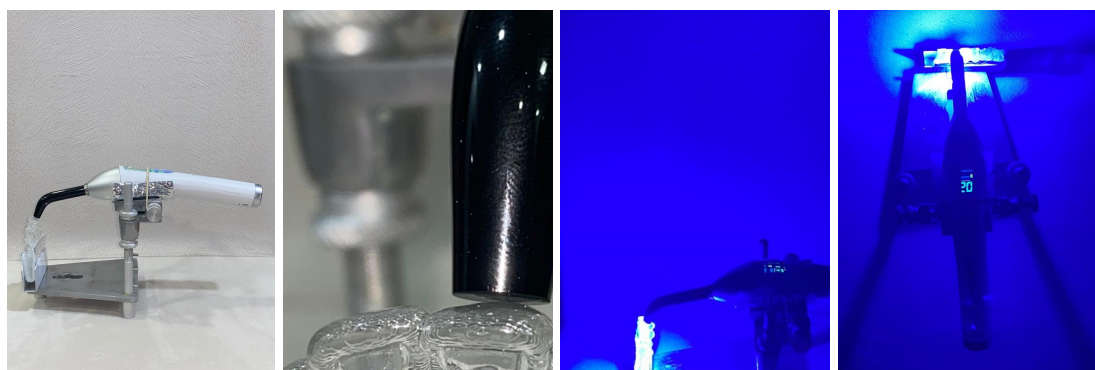
O terceiro grupo foi submetido à radiação LED (Fotopolimerizador LEDX-T2400 Dentmate Technology CO. LTD Taiwan, importado por Orthometric – Indústria e Comércio de Produtos Médicos e Odontológicos LTDA. Marília - SP - Brasil) (Figura 7) em contato com a superfície vestibular do alinhador correspondente à coroa do incisivo central superior direito por 240 segundos (6 ciclos de 40 segundos) na faixa de comprimento de onda 440-480nm; 800-1000mW/cm² (Figura 8).

Figura 7 - Fotopolimerizador LEDX T2400



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 - Imagens do posicionamento e demonstração da irradiação LED



Fonte: elaborado pelo autor

A superfície vestibular do incisivo central foi eleita como a região a receber a radiação LED e também como a região de aplicação da ponteira da célula de carga, por ser mais plana que os demais elementos dentais, por apresentar uma superfície com área suficientemente ampla, e por não apresentar *attachments*, os quais poderiam comprometer o trabalho, tanto na questão de espalhamento das radiações quanto em relação à alteração de leitura em carga.

Os grupos foram divididos e tiveram seus experimentos desenvolvidos por um operador que manteve as identidades de cada grupo sob sigilo, e somente foram reveladas ao final da tabulação dos resultados, após os testes de carga efetuados na máquina de ensaio universal.

4.3 Máquina de ensaio universal

Após a realização das irradiações, todos os alinhadores dos três grupos foram acondicionados em caixas de papelão com revestimento térmico, que os protegia de fontes de calor e luminosidade, e posteriormente submetidos ao teste de carga.

Para o teste foi vertido gesso pedra tipo III (proporção 100g de pó / 40ml de água; Vigodent SA Indústria e Comércio LTDA. Rio de Janeiro - RJ - Brasil) dentro dos alinhadores, em todos os dentes com exceção dos dentes 11, incisivo central superior direito de cada uma das amostras, que receberam um alívio para a aplicação da carga na Máquina Universal Instron (Emic DL2000 – Instron Brasil equipamentos Científicos LTDA. São José dos Pinhais – PR – Brasil) (Figura 9).

Figura 9 - Máquina de ensaio universal Instron Emic DL 2000

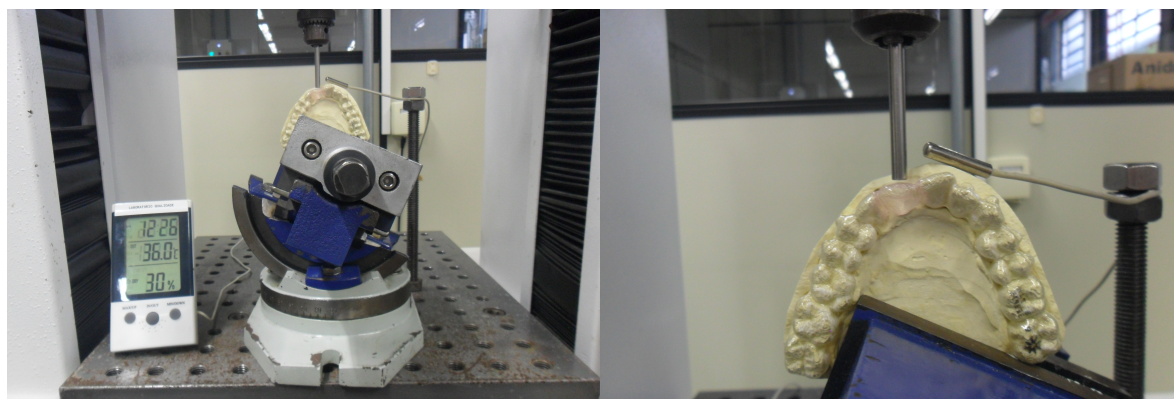


Fonte: elaborado pelo autor.

O teste foi feito sob o seguinte protocolo: célula de carga (ponta cilíndrica) perpendicular à região mais centralizada da face vestibular do referido dente; célula Trd19, carga limitada a no máximo 5N, carga com velocidade de 0,1mm/minuto, superfície de contato (cilindro) de 3,5mm, aquecedor a temperatura de 36° C, umidade do ar a 30%; (Figura 10). Dados tabulados pelo *software* Tesc 3.01.

No teste de carga foram realizadas três repetições consecutivas para cada alinhador, tendo sido elaborados os gráficos para cada um dos ensaios, totalizando 90 gráficos.

Figura 10 - Modelos com alinhadores em posição na máquina de ensaio universal



Fonte: elaborado pelo autor.

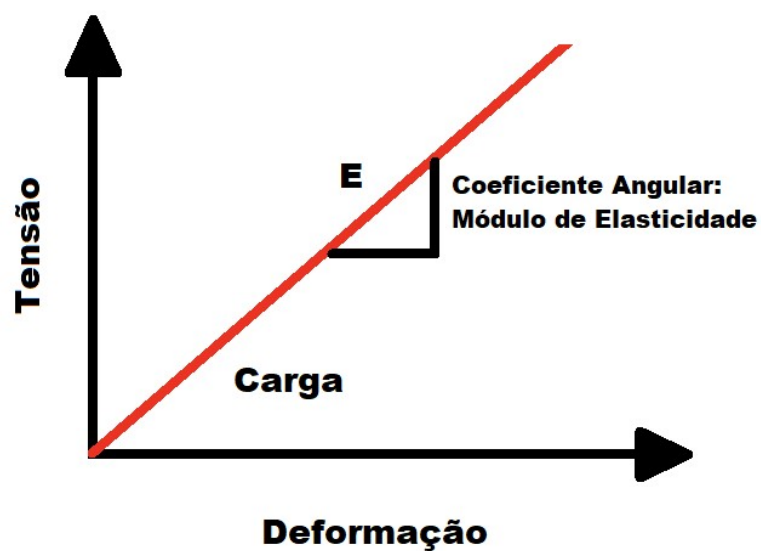
Em posse desses gráficos, foram analisadas as diferenças das médias das deformações máximas de carga entre os grupos e calculado o módulo de elasticidade para cada um dos grupos. Após a tabulação e comparação dos resultados, a identidade de cada grupo foi revelada.

Segundo Carvalho e colaboradores, a maioria dos materiais quando submetidos a uma tensão de tração apresenta proporcionalidade entre a tensão aplicada e a deformação observada.

A constante de proporcionalidade (E), denominada módulo de elasticidade ou módulo de Young, fornece uma indicação da rigidez do material, uma resistência do material à deformação elástica. O processo no qual a tensão e a deformação são proporcionais é chamado de deformação elástica, mostrado na Figura 11.

A inclinação (coeficiente angular) do segmento linear da curva tensão-deformação corresponde ao módulo de elasticidade “ E ” do material, que pode ser considerado como uma medida de rigidez ou de resistência do material à deformação elástica, assim, quanto maior o módulo menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma determinada tensão (maior rigidez) (Carvalho et al. 2014).

Figura 11 - Diagrama esquemático tensão-deformação correspondente à deformação elástica para ciclos de carga



Fonte: elaborado pelo autor.

5 RESULTADO

Para avaliar se haveria diferença estatística entre os três grupos, que antes da revelação dos resultados eram denominados A, B e C, e saber se as irradiações UV ou LED são responsáveis pelas diferenças apresentadas entre os grupos estudados, utilizou-se o teste H de Kruskal-Wallis.

Dessa forma, foram utilizadas as medianas de todas as amostras divididas em três grupos, conforme Tabela 1, em que a hipótese nula é de que as medianas de todos os grupos são iguais e a hipótese alternativa é de que ao menos a mediana de um grupo é diferente da mediana de ao menos um ou outro grupo.

Baseado no teste de H, com o nível de significância de 5%, foram comparadas, estatisticamente, as cargas dos três grupos. O teste mostrou o p-valor de 0.371817, isto é, não se rejeita a hipótese nula, mostrando que não há uma diferença estatística na carga aplicada nas amostras dos diferentes grupos.

Ao aplicar o mesmo teste para avaliar a diferença estatística entre a deflexão ocorrida e a constante elástica, nos três grupos, pelas condições impostas, foi obtido o p-valor de 0.000475883 para as deflexões e 0.000475883 para a constante elástica.

Dessa forma, considerando um nível de 5% de significância, rejeita-se a hipótese nula nos dois testes, o que garante que houve diferença significativa entre os três grupos quanto à irradiação de UV ou LED. Observou-se que considerando um nível de 1% as mesmas conclusões através das hipóteses são mantidas, portanto, mais preciso ainda (Kruskal, Wallis, 1952).

Para uma avaliação mais minuciosa sobre uma associação estatisticamente significativa entre os grupos de forma pareada foi utilizado o teste de Mann-Whitney. Tal teste é indicado para comparação de dois grupos não pareados para se verificar se pertencem ou não à mesma população.

Foram pareados os grupos A com B, A com C e B com C. Nesse caso o interesse foi a avaliação da diferença significativa entre eles com base no efeito das irradiações e sem irradiação. Com o p-valor nulo em todos os casos, rejeitou-se a

hipótese nula para 5% de significância. Isto é, a incidência dos raios foi responsável pelas diferenças estatísticas apresentadas.

Para avaliar as diferenças apresentadas entre os grupos pelo módulo de elasticidade devido à irradiação, o mesmo teste e pareamento anterior foram utilizados. Nesse caso, o interesse era avaliar se haveria diferença estatística significativa entre os grupos, considerando a variação do módulo de elasticidade.

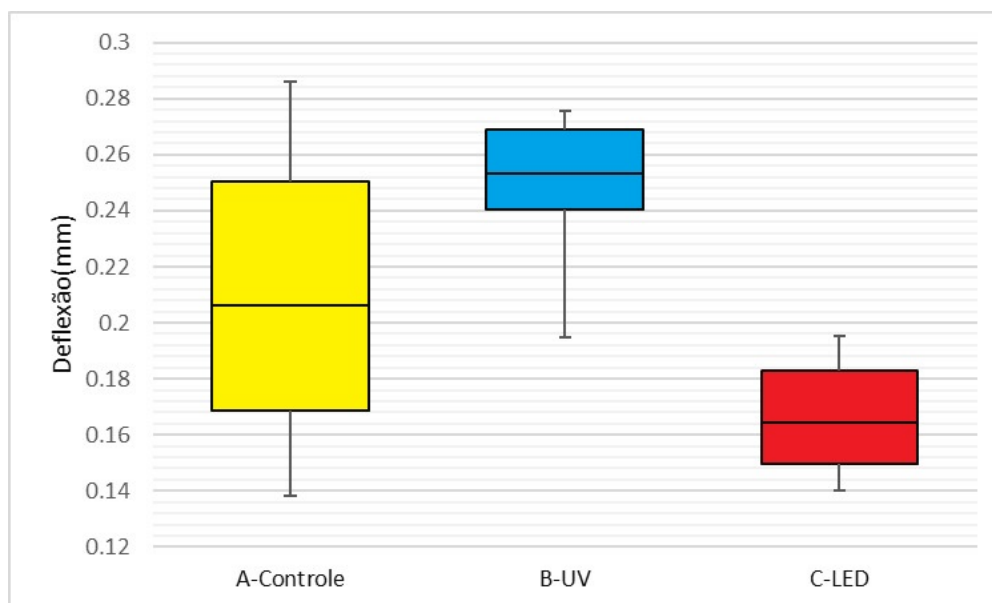
Utilizado o mesmo pareamento apresentado anteriormente foi obtido um p-valor de 0.000976562 em todos os casos, permitindo rejeitar a hipótese nula. Assim, considerando um nível de 5%, o teste mostrou que as irradiações UV e LED foram responsáveis pelas diferenças estatísticas significativas.

Tabela 1 - Especificações do experimento nas 10 amostras: força, deflexão e módulo de elasticidade

Amostas	A			B			C		
	Controle			UV			LED		
	FORÇA	DEFLEXÃO	E	FORÇA	DEFLEXÃO	E	FORÇA	DEFLEXÃO	E
	(N)	(mm)	(N/mm)	(N)	(mm)	(N/mm)	(N)	(mm)	(N/mm)
1	5.009	0.28590	17.52	5.009	0.19470	25.73	5.003	0.163	30.6932
2	5.016	0.16990	29.52	5.006	0.21860	22.90	5.016	0.1769	28.355
3	5.009	0.24670	20.30	5.016	0.24750	20.27	5.006	0.1835	27.2806
4	5.019	0.20660	24.29	5.009	0.25270	19.82	5.006	0.1955	25.6061
5	5.022	0.13810	36.36	5.009	0.25400	19.72	5.025	0.15	33.5
6	5.009	0.16490	30.38	5.016	0.26810	18.71	5.019	0.1483	33.8435
7	5.006	0.26110	19.17	5.006	0.26590	18.83	5.016	0.1827	27.4548
8	5.019	0.17790	28.21	5.019	0.27580	18.20	5.022	0.1614	31.1152
9	5.019	0.20620	24.34	5.003	0.27060	18.49	5.016	0.1401	35.803
10	5.006	0.24370	20.54	5.013	0.25150	19.93	5.019	0.1662	30.1985

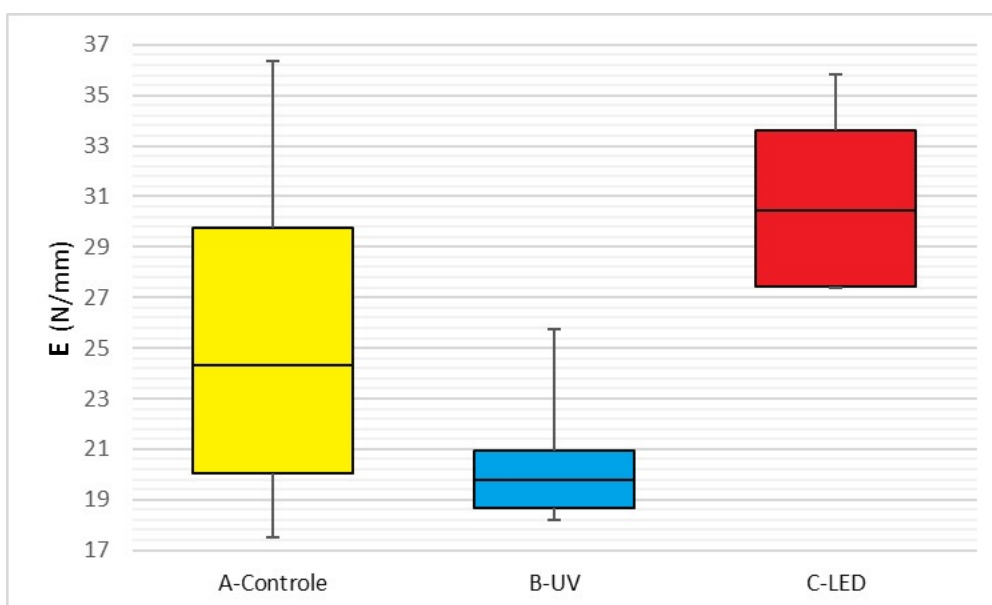
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 12 - Resultados da deflexão, em mm, nos grupos controle, UV e LED



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 13 - Resultados do módulo de elasticidade (E), em N/mm, nos grupos controle, UV e LED



Fonte: elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÃO

6.1 Novas possibilidades clínicas com o melhor controle das propriedades mecânicas

Os resultados do presente estudo sugerem que ocorrem alterações nas propriedades mecânicas dos alinhadores irradiados por UV com diminuição do módulo de elasticidade. Já a irradiação por LED provoca aumento desse módulo, o que propõe uma evidente alternativa para a otimização da terapia ortodôntica. De forma bem sucinta, quando for necessária maior resistência para determinada situação pode-se irradiar os alinhadores com LED, e caso contrário, caso necessite-se de maior flexibilidade, a irradiação com UV pode ser aplicada.

Transportando essas considerações para a questão clínica, o trabalho realizado por Thai JC *et al* trouxe resultados inéditos, que corroboram com a frequente queixa apresentada por pacientes que se submetem ao tratamento ortodôntico com alinhadores: a presença de *attachments*, sobretudo na região anterior superior.

Nesse artigo os autores avaliaram, por meio de uma interessante tecnologia de rastreamento ocular, a impressão de 250 participantes mediante a exposição de fotografias de pacientes sendo tratados por quatro diferentes modalidades de tratamento: alinhadores transparentes sem quaisquer *attachments*; alinhadores com *attachments* somente na região posterior; alinhadores com *attachments* tanto na região anterior quanto posterior; e aparelho fixo com braquetes cerâmicos.

Por ordem de preferência, ou seja, quais as fotografias que menos chamaram a atenção dos participantes e causaram impacto visual, o grupo mais esteticamente aceito foi o de alinhadores sem a presença de *attachments*, seguido do grupo do aparelho fixo com braquetes cerâmicos, alinhadores com *attachments* posteriores. O grupo considerado menos atrativo foi o dos alinhadores com *attachments* anteriores e posteriores.

Os autores relataram, ainda, que após a finalização do mapeamento de rastreio, os participantes responderam a mais um questionário, onde expressaram

que embora considerassem a estética do aparelho ortodôntico como um fator decisivo, a presença de *attachments* poderia gerar um descontentamento que os levaria a aceitar o comprometimento da estética em detrimento de melhor resultado. (Thai *et al.*, 2020).

É importante ressaltar, considerando os resultados desse interessante trabalho, que os alinhadores estéticos totalmente livres de *attachments* são utilizados em poucos casos, tendo a sua principal aplicação como aparelhos de contenção pós-tratamento, e que seria, portanto, uma modalidade plenamente substituível racionalmente pelos aparelhos fixos estéticos.

No presente estudo sugere-se que com as potenciais alterações específicas das propriedades mecânicas, quer seja reduzindo ou aumentando a resistência para que uma determinada movimentação ortodôntica ocorra, poderia reduzir a necessidade de *attachments* e até mesmo o número total de alinhadores, tornando o tratamento mais objetivo para o profissional e ao mesmo tempo mais aceitável pelo paciente.

Esta pesquisa também sugere que o controle das propriedades mecânicas dos alinhadores poderia proporcionar melhor controle de forças ortodônticas entregues durante todo o tratamento, podendo otimizar a distribuição das cargas aplicadas em áreas distintas em um mesmo alinhador.

No estudo realizado em 2018, a quantidade de movimento dentário prevista pelo Clincheck (Align Technology®) foi comparada com a quantidade alcançada para cada movimento, sobrepondo os modelos finais do Clincheck com modelos virtuais obtidos ao final do tratamento de vinte pacientes tratados com Invisalign®.

Os movimentos mais imprecisos identificados foram a intrusão dos incisivos e rotação dos caninos (Charalampakis *et al.*, 2018). Essa precisão teoricamente poderia ser obtida através da elaboração de um protocolo de irradiação adequado para determinados segmentos da arcada.

De acordo com uma revisão sistemática publicada em 2015, o tratamento ortodôntico com alinhadores não se mostra eficaz, pois os níveis de força aplicados representam apenas 60% a 70% do necessário para a movimentação desejada. Concluíram que essa modalidade de tratamento alinha e nivela os arcos, porém não é eficaz no controle de movimentos de extrusão nem de inclinação vestibulo-lingual anterior.

Os autores concluíram, também, que o tratamento com alinhadores transparentes não é eficaz no controle da rotação de dentes arredondados. Os autores ressaltaram a necessidade do uso de elementos e procedimentos auxiliares como acessórios, elásticos interarcos, recontorno interproximal, e geometrias alteradas dos alinhadores para melhorar a previsibilidade do movimento ortodôntico ou mesmo direcionar o aprimoramento das características do material com que os alinhadores são fabricados (Rossini *et al.*, 2015).

Segundo Ryu J. *et al*, os alinhadores ortodônticos transparentes devem ser cuidadosamente selecionados de acordo com os objetivos de tratamento, porque alguns podem apresentar diminuição significativa das forças de flexão após a termoformagem ou mesmo apresentar deformação permanente durante o tratamento.

Sugerem ainda que as propriedades físicas e mecânicas dos materiais termoplásticos utilizados para a fabricação de alinhadores transparentes devem ser avaliadas após a termoformagem para caracterizá-las para sua aplicação clínica. Os efeitos negativos das propriedades mecânicas oriundos da termoformagem poderiam ser contornados mediante irradiação de UV ou LED conforme a necessidade apresentada. (Ryu *et al.*, 2018).

Já, no estudo de Schuster S *et.al*, os alinhadores utilizados em tratamento demonstraram variação morfológica substancial em relação aos aparelhos não utilizados, envolvendo abrasão nas pontas das cúspides, absorção de pigmentos e calcificação localizada do biofilme em locais de estagnação.

Os segmentos vestibulares desses aparelhos mostraram aumento na dureza, no entanto, a implicação clínica dos efeitos de esforços mecânicos de mastigação e da ação da saliva na mecanoterapia é desconhecida (Schuster *et al.*, 2004), merecendo mais investigação e comparação com outros estudos.

Em relação ao conforto oferecido para o paciente durante o tratamento, os alinhadores quando comparados aos aparelhos fixos apresentam expressiva vantagem devido ao menor volume da aparatologia, bem como a possibilidade de remoção para alimentação e escovação.

Apesar de os pacientes tratados com alinhadores transparentes apresentarem menor risco de desmineralização de esmalte na região cervical, esse risco existe mesmo sendo possível a remoção para higienização. (Albhaisi *et al.*,

2020).

No quesito dor, apesar de a revisão de Pereira *et.al* citar que pacientes ortodônticos tratados com Invisalign® relataram níveis mais baixos de dor do que aqueles tratados com aparelhos fixos, a sensação de menos dor ocorreu apenas nos primeiros dias do tratamento, sendo que depois desse período não foram encontradas diferenças (Pereira *et al.*, 2020).

Fujiyama *et. al* concluíram que o tratamento com Invisalign® oferece menos dor em comparação com o tratamento tradicional com aparelhos fixos do tipo Edgewise; no entanto, problemas como deformação do alinhador devem ser cuidadosamente verificados no uso do Invisalign® tornando fundamental o controle das propriedades mecânicas e a personalização da distribuição das forças aplicadas durante todo tratamento ortodôntico.

Vale ressaltar que os acessórios Edgewise requerem o uso de fios de aço com dobras nos arcos, o que pode aumentar consideravelmente a experiência da dor (Fujiyama *et al.*, 2014).

No que diz respeito a possível melhora clínica, um protocolo de irradiação para as bordas cervicais poderia ser recomendado e alinhado com as necessidades da biomecânica do tratamento ortodôntico. Desta forma os alinhadores tratados (irradiados) seriam mais flexíveis na região de interesse, e exerceriam menor pressão na região cervical.

6.2 Biocompatibilidade do poliuretano aos tecidos bucais ou risco de citotoxicidade

No estudo piloto foi possível observar, a partir dos resultados obtidos na espectroscopia Raman, que houve alterações nas estruturas moleculares, e consequentemente chance de degradação molecular. Pode-se, então, levantar a hipótese que tais alterações podem estar relacionadas ao desprendimento de substância com composição molecular análoga ao grupo dos isocianetos, ou seja, produtos nocivos à saúde.

Autores concluíram que eventos graves com risco de vida poderiam estar associados ao uso de sistemas Invisalign®, alertando que os profissionais de saúde devem estar cientes desses eventos e saber como lidar com eles se surgirem em suas práticas.

Os ortodontistas também devem comunicar previamente a possibilidade de ocorrência desses eventos aos pacientes antes do início do tratamento, para permitir que eles tomem decisões informadas. Pacientes no caminho da ortodontia “faça você mesmo”, devem ser cautelosos com eventos adversos e os riscos do tratamento não supervisionado. Os fabricantes devem realizar mais testes de produtos e divulgar amplamente essas descobertas de interesse dos pacientes (Allareddy *et al.*, 2017).

Em um interessante estudo foi realizado um levantamento retrospectivo, de novembro de 2006 a novembro de 2016, da base de dados MAUDE (Manufacturer and User Facility Device Experience), órgão pertencente à FDA (Food and Drug Administration) dos Estados Unidos.

Os autores coletaram e documentaram 173 relatórios de alerta do uso de dispositivos médicos (Medical Device Reports - MDRs). Desses 173 relatórios 138 foram reportados pela própria Align Technology® e 35 foram feitos voluntariamente pelos próprios pacientes, familiares ou profissionais de saúde.

Do total reportado, 97,7% do total relataram eventos adversos, tais como: dificuldade de respirar (56 eventos), dor de garganta (35 eventos), garganta inchada (34 eventos), urticária e prurido (31 eventos), anafilaxia (30 eventos), lábios inchados (27 eventos), e sensação de garganta fechando / obstrução aérea / afinamento de via aérea (24 eventos), entre outros. Os alinhadores Invisalign® são fabricados em poliuretano, material que tem em sua síntese o isocianato, componente crítico pela sua reconhecida toxicidade.

A partir dessa informação, os autores concluíram que eventos com risco de vida podem estar associados à utilização de Invisalign®, e que profissionais de saúde devem ficar atentos a acontecimentos e riscos adversos dos tratamentos sem acompanhamento rigoroso, além de estar cientes desses riscos para saber como lidar caso eles surjam.

Os autores aconselham os profissionais que comuniquem quaisquer acontecimentos adversos ao FDA do sistema MAUDE, e os possíveis eventos aos

pacientes para que possam tomar sua decisão de forma consciente. Ressaltaram também que os fabricantes devem realizar mais estudos de seus produtos e divulgar amplamente as descobertas (Allareddy *et al.*, 2017).

Publicado em 2020, o estudo de Fang e colaboradores investigou as alterações nas propriedades mecânicas, morfologia de superfície estrutural e composição do material Invisalign® no ambiente oral

Na comparação de alinhadores sem utilização com aparelhos utilizados pelos pacientes por duas semanas, um dos testes realizados foi o da microscopia de varredura por análise de raio x para detectar quaisquer alterações na composição química do material antes e depois da aplicação clínica. Essa análise indicou uma possível liberação de oligoelementos, tais como o alumínio, durante o uso dos alinhadores de poliuretano (Fang *et al.*, 2020).

Premaraj e colaboradores avaliaram as respostas celulares do epitélio oral exposto ao poliuretano particulado de alinhadores Invisalign®, comparando os resultados obtidos da imersão de células epiteliais orais em saliva artificial/solução salina (grupos controle) com os resultados da imersão em soluções contendo saliva artificial/poliuretano e solução salina/poliuretano.

Os dados obtidos sugerem que o poliuretano com solução salina reduz a função de barreira, aumentando assim sua permeabilidade quando da comparação com o grupo controle. Já as células com saliva e com saliva/poliuretano tiveram a função barreira aumentada e a permeabilidade celular diminuída.

Segundo o estudo, embora reações alérgicas a isocianatos tenham sido relatadas, os resultados indicam que na presença de saliva os efeitos do poliuretano podem ser reduzidos ou neutralizados (Premaraj *et al.*, 2014).

Eliades *et al.* investigaram a propriedade citotóxica de liberação de bisphenol-A (BPA) dos aparelhos Invisalign®. Avaliaram amostras de três conjuntos de alinhadores imersos em solução salina diluída, testadas em fibroblastos gengivais humanos (37° C, 2 meses, em meio Eagle Modificado por Dulbecco – DMEM). Concluíram que nenhuma atividade citotóxica dos aparelhos Invisalign® foi documentada (Eliades *et al.*, 2009).

Por outro lado, ainda sobre o risco de citotoxicidade dos alinhadores, um estudo realizado *in vitro* avaliou a resposta de fibroblastos gengivais colocados em

tubos de ensaio (37° C, 14 dias, em DMEM) com amostras de quatro tipos diferentes de materiais termoplásticos utilizados para confecção de alinhadores ortodônticos.

Os resultados demonstraram uma leve citotoxicidade para todas as amostras, sendo em ordem decrescente Biolon® (Dreve Dentamid GmbH, Unna, Alemanha) a que apresentou maiores níveis de citotoxicidade, seguida por Zendura® (Bay Materials LLC, Fremont, CA, EUA), SmartTrack® (Align Technology, San Jose, CA, EUA) e por fim a Duran® (Scheu-Dental GmbH, Iserlohn, Alemanha), a qual se apresentou menos citotóxica (Martina *et al.*, 2019).

6.3 Diferença entre alinhadores estampados X alinhadores impressos

O método proposto de irradiação e consequentemente o maior controle das propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes, pode ser aplicado tanto à manufatura de alinhadores transparentes estampados como dos alinhadores impressos diretamente nas impressoras 3.

Isso porque na revisão feita por um recente trabalho, publicado em 2021, ficou clara a conclusão que as alterações na estrutura do alinhador causadas pelo processo de termoformagem e pelo ambiente intraoral influenciam diretamente nas propriedades mecânicas, e podem levar a efeitos secundários com a potencial perda de eficácia devido à presença de forças ortodônticas que atuem sobre os dentes e *attachments* de formas indesejáveis (Tartaglia *et al.*, 2021).

Diferentemente dos resultados encontrados por McCarty M C *et. al*, em que os alinhadores confeccionados diretamente utilizando impressora tridimensional foram avaliados, a orientação da impressão, a exposição ao calor e a duração da cura UV tiveram pouco efeito na precisão dimensional geral dos alinhadores impressos em 3D, sugerindo que pesquisas adicionais são necessárias à medida que as resinas comercializadas para a fabricação de alinhadores transparentes surjam no mercado (McCarty *et al.*, 2020).

Outra possibilidade de aprimoramento das propriedades mecânicas dos alinhadores foi investigada por Jindal e colaboradores, que compararam

propriedades mecânicas compressivas e imprecisões geométricas entre alinhadores ortodônticos transparentes termoformados convencionalmente, fabricados pela Duran® (Scheu-Dental GmbH, Iserlohn, Alemanha), com alinhadores transparentes à base de resina Dental Long Term® (LT) confeccionados pela técnica de modelagem e impressão direta 3D.

Os resultados sugerem que os alinhadores impressos em 3D são geometricamente mais precisos, com uma diferença média de 2,55%, do que os alinhadores termoformados, com diferença de 4,41%. Os alinhadores impressos podem resistir a uma carga de 662N para uma deformação de 2,93mm, enquanto alinhadores termoformados resistem apenas a forças de 105N para a mesma deformação de 2,93mm.

Os alinhadores transparentes têm, portanto, potencial melhor rendimento, maior resistência à carga e menor deformação obtidos a partir da impressão 3D podem fornecer resultado superior ao tratamento ortodôntico (Jindal *et al.*, 2019).

6.4 Limitações e possibilidades a partir deste estudo

Devido ao já citado ineditismo deste estudo, em se tratando da possível melhoria das propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes, torna-se necessário aprimoramento e refinamento dos protocolos de irradiação, bem como merecem mais cuidado as condições em que são feitas as aplicações, como, por exemplo, o melhor controle de temperatura internamente à câmara de UV, que emite calor em níveis consideráveis, e não somente o controle de temperatura ambiente (36° C) que foi monitorado na sala onde foram feitos os testes de tensão.

O presente estudo tem como objetivo avaliar as modificações das propriedades mecânicas de materiais à base de PU submetidos à radiação ultravioleta. Um outro estudo que teve o mesmo objetivo, apesar da diferença nos materiais e métodos, demonstrou que a incidência de radiação ultravioleta em compósitos de poliuretano diminuiu a resistência de flexão e aumentou a

deformação. Esse resultado corrobora os resultados deste estudo, pois os alinhadores transparentes Invisalign® irradiados com UV também apresentaram menor resistência à tensão e maior deformação quando comparados ao grupo controle (Giroto, 2017).

Cabe ressaltar que, de acordo com um trabalho publicado previamente, o excesso de exposição à radiação UV pode levar à modificação das propriedades mecânicas pelo enrijecimento do material, devido à formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, podendo desencadear a formação de trincas e fissuras (Rodrigues, Neumann, 2003). O refinamento do protocolo utilizado pela presente pesquisa é, portanto, de fundamental relevância, devendo ser levado em conta em futuros trabalhos.

É importante enfatizar que além do PU, outros estudos piloto foram realizados referente aos alinhadores constituídos por PetG, mostrando resultados similares e que aqui não foram mostrados para que não houvesse perda de objetividade.

Devido ao ineditismo da metodologia proposta e do objetivo principal desta pesquisa, são reduzidas as chances da comparação direta com outros estudos. É evidente a necessidade de mais pesquisas que consigam aperfeiçoar esses protocolos, possibilitando estabelecer de forma mais efetiva a melhoria das propriedades mecânicas dos alinhadores transparentes, melhorando sua *performance* clínica.

7 CONCLUSÃO

A metodologia empregada, a análise e a discussão dos resultados obtidos levaram às conclusões seguintes:

- O trabalho piloto que originou a pergunta a ser respondida pelo presente trabalho estabelece um sinal de alerta aos ortodontistas, pois ocorre o desprendimento de substâncias potencialmente nocivas à saúde geral do paciente.
- A diminuição do módulo de elasticidade pela aplicação de UV e seu aumento pela aplicação de LED evidenciam a possibilidade de melhoria da performance clínica de alinhadores transparentes.
- Os resultados apresentados neste estudo marcam um ponto de partida para uma nova etapa evolutiva no que diz respeito às propriedades mecânicas dos materiais empregados na confecção de alinhadores transparentes, podendo induzir a uma nova atitude frente à inércia dos fabricantes, que se acomodaram há pelo menos duas décadas sem a menor preocupação em oferecer qualquer evolução nesse sentido.
- A continuidade de mais estudos que estabeleçam refinamento nos protocolos aqui desenvolvidos é absolutamente necessária e urgente.

REFERÊNCIAS

- Albhaisi Z, Al-Khateeb SN, Abu Alhaija ES. Enamel demineralization during clear aligner orthodontic treatment compared with fixed appliance therapy, evaluated with quantitative light-induced fluorescence: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2020;157(5):594–601.
- Allareddy V, Nalliah R, Lee MK, Rampa S, Allareddy V. Adverse clinical events reported during Invisalign treatment: Analysis of the MAUDE database. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2017;152(5):706–10.
- Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJF, et al. Braces versus Invisalign®: Gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: A cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2015;15(1):1–5.
- Barbagallo LJ, Shen G, Jones AS, Swain M V., Petocz P, Darendeliler MA. A novel pressure film approach for determining the force imparted by clear removable thermoplastic appliances. *Ann Biomed Eng*. 2008;36(2):335–41.
- Barone S, Paoli A, Neri P, Razionale AV, Giannese M. Mechanical and geometrical properties assessment of thermoplastic materials for biomedical application. *Lect Notes Mech Eng*. 2017;437–46.
- Borda AF, Garfinkle JS, Covell DA, Wang M, Doyle L, Sedgley CM. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions. *Angle Orthod*. 2020;90(4):485–90.
- Bório VG, Fernandes AU, Silveira L. Characterization of an ultraviolet irradiation chamber to monitor molecular photodegradation by Raman spectroscopy. *Instrum Sci Technol*. 2016;44(2):189–98.
- Carvalho JE de, Claro Neto S, Chierice GO. Caracterização Térmica Do Poliuretano Derivado De Óleo Vegetal Utilizado Para Confecção De Dispositivo De Assistência Ventricular. *Brazilian J Therm Anal*. 2014;3(1–2):16.
- Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;154(1):47–54.
- Daniele V, Macera L, Taglieri G, Di Giambattista A, Spagnoli G, Massaria A, et al. Thermoplastic disks used for commercial orthodontic aligners: Complete physicochemical and mechanical characterization. *Materials (Basel)*. 2020;13(10).
- Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2005;128(3):292–8.
- Eliades T, Pratsinis H, Athanasiou AE, Eliades G, Kleetsas D. Cytotoxicity and

estrogenicity of Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;136(1):100–3.

Fang D, Li F, Zhang Y, Bai Y, Wu BM. Changes in mechanical properties, surface morphology, structure, and composition of Invisalign material in the oral environment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2020;157(6):745–53.

Fujiyama K, Honjo T, Suzuki M, Matsuoka S, Deguchi T. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: Comparison with fixed edgewise appliance therapy. *Prog Orthod.* 2014;15(1):1–7.

Giroto T. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COMPÓSITO SISAL / POLIURETANO. 2017;0–56.

Graf I, Puppe C, Schwarze J, Höfer K, Christ H, Braumann B. Evaluation of effectiveness and stability of aligner treatments using the Peer Assessment Rating Index. *J Orofac Orthop.* 2021;82(1):23–31.

Gu J, Tang JS, Skulski B, Jr HWF, Beck FM, Firestone AR, et al. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2017;151(2):259–66.

Jeremiah HG, Bister D, Newton JT. Social perceptions of adults wearing orthodontic appliances: A cross-sectional study. *Eur J Orthod.* 2011;33(5):476–82.

Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2019;156(5):694–701.

John N, George S. Raman Spectroscopy. *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization.* Elsevier Inc. 2017;2(5):95-127.

Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg.* 1945;31(6):297–304.

Kohda N, Iijima M, Muguruma T, Brantley WA, Ahluwalia KS, Mizoguchi I. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *Angle Orthod.* 2013;83(3):476–83.

Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;135(1):27–35.

Kruskal WH, Wallis WA. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *J Am Stat Assoc.* 1952;47(260):583–621.

Kwon JS, Lee YK, Lim BS, Lim YK. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133(2):228–34.

Liu P, She C, Tan L, Xu P, Yan L. Development of LED Package Heat Dissipation Research. *Micromachines*. 2022;13(2).

Lombardo L, Arreghini A, Maccarrone R, Bianchi A, Scalia S, Siciliani G. Optical properties of orthodontic aligners—spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Prog Orthod*. 2015;16(1):1–8.

Lombardo L, Marafioti M, Stefanoni F, Mollica F, Siciliani G. Load deflection characteristics and force level of nickel titanium initial archwires. *Angle Orthod*. 2012;82(3):507–21.

Martina S, Rongo R, Bucci R, Razionale AV, Valletta R, D'Antò V. In vitro cytotoxicity of different thermoplastic materials for clear aligners. *Angle Orthod*. 2019;89(6):942–5.

McCarty MC, Chen SJ, English JD, Kasper F. Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2020;158(6):889–97.

Memè L, Notarstefano V, Sampalmieri F, Orilisi G, Quinzi V. Atr-ftir analysis of orthodontic invisalign® aligners subjected to various in vitro aging treatments. *Materials (Basel)*. 2021;14(4):1–10.

Papadimitriou A, Mousouleas S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod*. 2018;19(1).

Pereira D, Machado V, Botelho J, Proença L, Mendes JJ, Delgado AS. Comparison of pain perception between clear aligners and fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Appl Sci*. 2020;10(12).

Pithon MM, Baião FCS, Sant Anna LID de A, Paranhos LR, Cople Maia L. Assessment of the effectiveness of invisible aligners compared with conventional appliance in aesthetic and functional orthodontic treatment: A systematic review. *J Investig Clin Dent*. 2019;10(4):12455.

Premaraj T, Simet S, Beatty M, Premaraj S. Oral epithelial cell reaction after exposure to Invisalign plastic material. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2014;145(1):64–71.

Raman C V., Krishnan KS. A new type of secondary radiation [11]. *Nature*. 1928;121(3048):501–2.

Ribeiro Claro P. Espectroscopia. *Rev Ciência Elem*. 2017;5(4):1–4.

Rodrigues MR, Neumann MG. Photopolymerization: principles and methods. *Polímeros*. 2003;13(4):276–86.

Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle*

Orthod. 2015;85(5):881–9.

Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, Cha JY, Kim KM. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean J Orthod*. 2018;48(5):316–25.

Schuster S, Eliades G, Zinelis S, Eliades T, Bradley TG. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2004;126(6):725–8.

Shetty S, Shaikh N. Clear aligner therapy – A review. *J Dent Spec*. 2021;9(2):46–52.
Somerville WRC, Le Ru EC, Northcote PT, Etchegoin PG. High performance Raman spectroscopy with simple optical components. *Am J Phys*. 2010;78(7):671–7.

Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: Flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*. 2000;21(13):1379–85.

Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, Santaniello T, Serafin M, Farronato M, et al. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: Current state and future possibilities. *Materials (Basel)*. 2021;14(7):1–11.

Thai JK, Araujo E, McCray J, Schneider PP, Kim KB. Esthetic perception of clear aligner therapy attachments using eye-tracking technology. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2020;158(3):400–9.

Wong BH, Scholz RP, Turpin DL. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002;121(5):540–1.

Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017;20(3):127–33.

Universidade do Vale do Paraíba Instituto de Pesquisa & Desenvolvimento FELIPE GOMES BENÍCIO Observação temporal de fotopolimerização da resina composta mediante uso da Espectroscopia Raman Dispersiva (ERD). 2006.