



Luiz Henrique Baniski

**Estudo do comportamento mecânico das placas de polímeros de
alinhadores ortodônticos: estudo *in vitro***

CURITIBA
2019

Luiz Henrique Baniski

Estudo do comportamento mecânico das placas de polímeros de alinhadores
ortodônticos: estudo *in vitro*

Dissertação apresentada a Faculdade ILAPEO como
parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em
Odontologia com área de concentração em Ortodontia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ricarda Duarte da Silva

CURITIBA
2019

Luiz Henrique Baniski

Estudo do comportamento mecânico das placas de polímeros de alinhadores
ortodônticos: estudo *in vitro*

Presidente da Banca orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ricarda Duarte da Silva

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr.: Augusto Ricardo Andrighetto

Prof Dr^ª.: Isabela Almeida Shimizu

Aprovada em: 30/08/2019

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de conquistar mais esta vitória.

À minha família, à qual privei de minha presença por várias semanas, pelo apoio incessante.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Ricarda Duarte da Silva, o qual me honrou em compartilhar deste trabalho, fazendo-o com confiança e determinação.

Ao Prof. Peterson Jagger que, com sua sabedoria concedeu proveitosa contribuição à este trabalho.

À UNIUV pelo auxílio financeiro e disponibilidade de laboratórios e equipamentos para efetuar este estudo. Agradeço a todos aqueles que de alguma forma agregaram em meu enriquecimento intelectual e pessoal.

Sumário

1.	Artigo científico 1.....	6
2.	Artigo científico 2.....	30

Artigo científico 1

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico:

Angle Orthodontist.

Estudo do comportamento mecânico das placas de polímeros de alinhadores ortodônticos: estudo *in vitro*

Luiz Henrique Baniski¹
Ricarda Duarte da Silva²

¹ Mestrando em ortodontia – Faculdade ILAPEO.

² Doutora em Ciências Odontológicas pela Universidade de São Paulo – USP

Resumo

Trata-se de estudo *in vitro* que tem por objetivo investigar o comportamento mecânico das placas de material termoplástico com as quais são confeccionados os diferentes alinhadores dentários. Para tanto foram utilizadas 90 corpos de prova sendo - 30 corpos de prova de cada marca comercial seguinte: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha) Crystal Aligner (MG – Brasil) e Essix Clear aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA), os quais foram submetidos a testes em ambiente semelhante as condições intraorais em temperatura e umidade e a testes em ambiente seco. Foram realizados testes de deflexão de três pontos e testes de liberação de estresse para avaliar o comportamento dos corpos de prova e os resultados das diferentes placas sendo, enfim, comparados dentre as diferentes marcas, entre os grupos de ambiente úmido e seco e bem como em diferentes níveis de deformação.

Palavras-chave: Ortodontia, Alinhadores ortodônticos, Forças de deflexão.

Abstract

It's *in vitro* study that aims to investigate the mechanical behaviour of thermoplastic material with which are made from different dental aligners. To do so will be used 90 specimens, being 30 specimens of each following trademark: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha) Crystal Aligner (MG – Brasil) e Essix Clear aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA), which were tested in similar environment intraoral conditions in temperature and humidity and the tested in dry environment. Deflection tests was carried out for three points and release of stress tests to evaluate the behavior of specimens and the results of the different plates will, compared among the different brands and between groups of wet and dry environment, and as well as different levels of deformation.

Key words: Orthodontics; Dental Aligners; Deflection forces

INTRODUÇÃO

Os materiais termoplásticos vêm há algum tempo sendo utilizados na odontologia para uso em diversos dispositivos, empregados em contenções periodontais, protetores dentais e placas de clareamento em razão das características mecânicas que apresentam como a memória de forma, maleabilidade e boa estética. A movimentação dentária sem o uso de aparelhos convencionais que utilizam bráquetes e arcos, foi descrita por Kesling em 1945, que relatou o uso de um posicionador ortodôntico removível; Posicionador este, foi aprimorado por muitos pesquisadores que desenvolveram vários tipos de retentores invisíveis.⁽¹⁾

A maioria desses aparelhos ortodônticos removíveis, incluindo retentores e posicionadores, são confeccionados a partir de um “*set up*”, isto é, um modelo de referência feito em gesso, o qual teria os dentes seccionados manualmente e reposicionados através de enceramento em uma posição otimizada.⁽²⁾ Sendo que para alcançar esta posição otimizada era necessário realizar o enceramento por etapas, dividindo o deslocamento do dente da posição inicial até a posição final, em vários pequenos movimentos, e sendo que um aparelho alinhador requer de 6 a 40 placas sequenciais por arco, a fabricação manual deste tipo de aparelho, através desse processo de confecção torna-se trabalhoso, oneroso e ainda, muito difícil de manter a precisão desejada.⁽³⁾

Ortodontistas estão recebendo cada vez mais pacientes adultos, os quais por razões sociais ou profissionais necessitam de um tratamento mais estético o que explica o entusiasmo desses pacientes pelos alinhadores ortodônticos.⁽⁴⁾ Com o surgimento do sistema CAD/CAM, em 1998 surgem os alinhadores invisíveis desenvolvidos digitalmente, estes alinhadores consistem em uma técnica ortodôntica para o alinhamento e direcionamento do movimento dentário através de uma série de placas removíveis elaboradas digitalmente e confeccionadas sobre modelos diagnósticos otimizados e criados através de uma única impressão. Cada placa é programada para movimentar um dente ou um pequeno grupo de dentes cerca de 0.25 a 0.33 mm a cada 14

dias. Tal terapia visa substituir os aparelhos fixos com seus bráquetes metálicos, tendo muita aceitação entre pacientes devido ao seu conforto e apelo estético, sendo cada vez mais difundido. ^(5,6,7)

Os aparelhos alinhadores são formados por polímeros que se caracterizam por apresentarem um comportamento intermediário entre o sólido elástico e o líquido viscoso, influenciados pela temperatura e pela escala de tempo a que são submetidos. Esta característica é denominada viscoelasticidade. ⁽⁸⁾ Um material visco elástico pode, sob cargas constantes sofrer deflexão, e essa deflexão aumenta ao longo do tempo, atribuindo-se a este fenômeno o nome de fluência, ou seja, mesmo sem aumento da carga exercida o material tem contínua deformação. ⁽⁵⁾ Na fluência o polímero pode se deformar além de seu limite de escoamento atingindo um estado de deformação irreversível comprometendo o desempenho da peça. Três fatores, tensão tempo e temperatura, podem afetar a fluência. Sendo tensão, a reação de um material à carga aplicada sobre sua área. ^(8,9)

Os materiais mais comuns utilizados na confecção de alinhadores são o polietileno tereftalato glicol modificado (PET-G), polipropileno, policarbonato (PC), poliuretanos termoplásticos (TPU), acetato de vinil etileno e muitos outros materiais dessa natureza. ⁽⁵⁾

Quando as placas confeccionadas desses materiais são posicionadas no arco, há uma deformação elástica que incidirá uma força sobre o dente ou sobre o arco como um todo, possibilitando sua movimentação. À medida que essa movimentação atinge a posição desejada, a placa vai recuperando sua forma original, ocasionando o decréscimo da força. Ou seja, através desse limite elástico, uma placa de alinhador libera força proporcional à sua deformação. ^(5,6)

As forças ortodônticas exercidas pelos alinhadores termoplásticos apresentam forte correlação com a dureza e o módulo de elasticidade dos materiais, assim como por sua espessura, mostrando que aparelhos fabricados com maior espessura liberem maiores módulos de força. ⁽¹⁰⁾

Além disso, variando a espessura do material altera-se a amplitude das tensões aplicadas, modificando assim, o desempenho do material. ^(5,6)

O esperado de um aparelho alinhador é de que possa exercer um movimento dentário fisiológico, através de forças leves e contínuas ao longo de seu uso, porém devido as suas características viscoelásticas seu comportamento pode variar consideravelmente ao longo do tempo, e essa variação se traduz em perda de propriedades mecânicas interessantes ao movimento ortodôntico. ⁽⁵⁾

Durante sua vida útil, e, independentemente da aplicação à que se destina, é muito importante um desempenho mecânico otimizado do produto polimérico;⁽⁸⁾ Sendo assim, se torna imperioso avaliar as alterações das propriedades mecânicas das placas termoplásticas que constituem os alinhadores dentários em condições que simulem as forças de mastigação, à temperatura e a umidade da cavidade bucal, até porque, atualmente, com a acessibilidade maior à equipamentos como scanners intraorais e impressoras tridimensionais, alguns ortodontistas já estão fazendo seu próprio alinhador, e, em pouco tempo, este procedimento poderá ser comum em consultórios ou clínicas que podem não necessariamente serem especializadas em ortodontia. ^(9,11)

Para tornar essa prática mais efetiva ou segura, este trabalho visa à comparação de diferentes marcas de placas que originam os alinhadores, testando algumas de suas propriedades mecânicas e observando seu comportamento.

METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma pesquisa *in vitro*. A amostra foi constituída por placas originárias de alinhadores ortodônticos das seguintes marcas: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha), com espessura de 0,75mm; Crystal Aligner (Crystal TechMG – Brasil) com 0,75 mm e Essix Clear Aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA) de 0,88 mm de espessura. Totalizando 90 corpos de provas, sendo 30 de cada marca comercial, cujas placas

originárias dos alinhadores foram recortadas de acordo com as normas da ASTM D790, por equipamento de precisão à laser (Superior Technologies – Índia) nas medidas de 50mm x 25mm, os quais foram testadas em ambiente que simulem as condições intraoral de umidade e temperatura, e em ambiente seco, apoiadas sobre um suporte de nylon retangular com vão de 12 mm.

TESTE DE RELAXAMENTO DE ESTRESSE

Para determinar a viscoelasticidade e elasticidade dos materiais foi realizado o teste de flexão de três pontos (fig 1), utilizando o medidor Emic 10000 DL (Equipamentos e Sistemas de Ensaio LTDA 4467, São José dos Pinhais – PR, Brasil), com uma célula de carga de 1N. Cada corpo de prova foi deformado a uma velocidade de 100 mm por minuto até uma deflexão máxima de 07,05 e 02 mm.

Para testes em ambiente úmido (oral simulado), os corpos de prova de cada material foram pré-condicionados em água destilada a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas antes do teste e, em seguida, posicionado em um suporte imerso também em água destilada sendo o controle de temperatura mantido por termostato a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ como em um banho térmico. (fig. 2 e 3) O corpo de prova foi posicionado conforme a figura 1. A aplicação de carga estará no centro da placa. Foi aplicada a carga inicial pré-estabelecida de 1N; O carregamento estabeleceu uma deformação instantânea medida e mantida por 04 hrs e os dados registrados a cada 10 segundos até o final das 04 hrs. Para os testes em ambiente seco as amostras não foram pré acondicionadas anteriormente.

Mantendo-se constante a deflexão, a tensão imposta reduziu com o tempo. A determinação da relaxação da tensão com o tempo deu origem a curva Tensão x Tempo. Deste gráfico foi obtida a variação do módulo de elasticidade. A relaxação da tensão em porcentagem será determinada para cada amostra a cada 30 min.

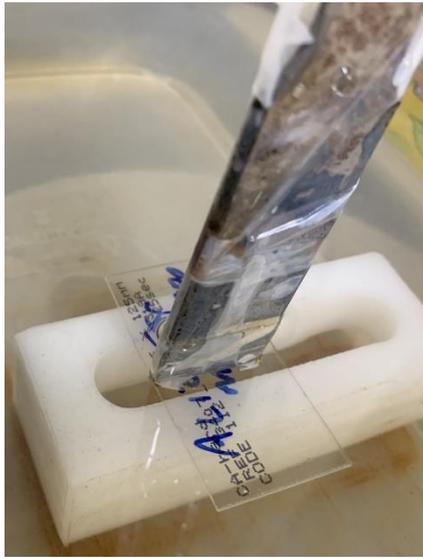


Figura 1 - Teste de flexão de três pontos.



Figura 2 - Esquema de circuito térmico.



Figura 3: Equipamento Emic. para testes laboratoriais.

RESULTADOS

Deformação de 07mm em ambiente úmido

O comportamento das amostras com aplicação de deformação de 7,0 mm em condição úmida revelou que a maior tensão máxima foi obtida pela marca Clear Aligner (71,89 MPa), seguida de Crystal Aligner (64,88 MPa) e Essix Clear Aligner (61,11 MPa). Após transcorrido o tempo de 240 minutos o melhor desempenho para tensão residual foi obtida pela Essix Clear Aligner (43,88%), seguida por Clear Aligner (38,59%) e Crystal Aligner (32,79%). A tabela 10

demonstra o desempenho das três marcas ao longo do período de 240 minutos em termos de tensão absoluta e seu respectivo desvio padrão (MPa) e tensão residual (%). O desenvolvimento da tensão residual para as três marcas testadas também é ilustrado na figura 4.

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (MPa)	61,11	32,06	30,25	28,75	27,69	27,39	26,64	26,19	25,89
	Desvio padrão	9,64	3,86	3,81	3,96	3,96	4,00	3,86	4,00	4,31
	Tensão residual (%)	100,00	54,14	51,15	48,73	47,00	47,41	45,84	44,00	43,88
Crystal Aligner	Tensão (MPa)	64,88	33,36	29,49	27,10	25,44	23,59	22,86	22,49	21,38
	Desvio padrão	4,54	7,30	5,79	4,59	4,54	3,49	3,88	3,55	3,65
	Tensão residual (%)	100,00	51,04	45,16	41,55	39,00	36,73	35,05	34,51	32,79
Clear Aligner	Tensão (MPa)	71,89	34,47	32,07	30,78	29,68	28,75	28,02	27,28	26,91
	Desvio padrão	7,63	2,49	2,87	3,10	3,77	3,41	4,10	4,40	3,99
	Tensão residual (%)	100,00	48,42	45,13	43,30	41,77	41,57	39,44	39,13	38,59

Figura 4 - Resultados para tensão, desvio padrão e tensão residual para as três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida - Fonte: dados da pesquisa (2019).

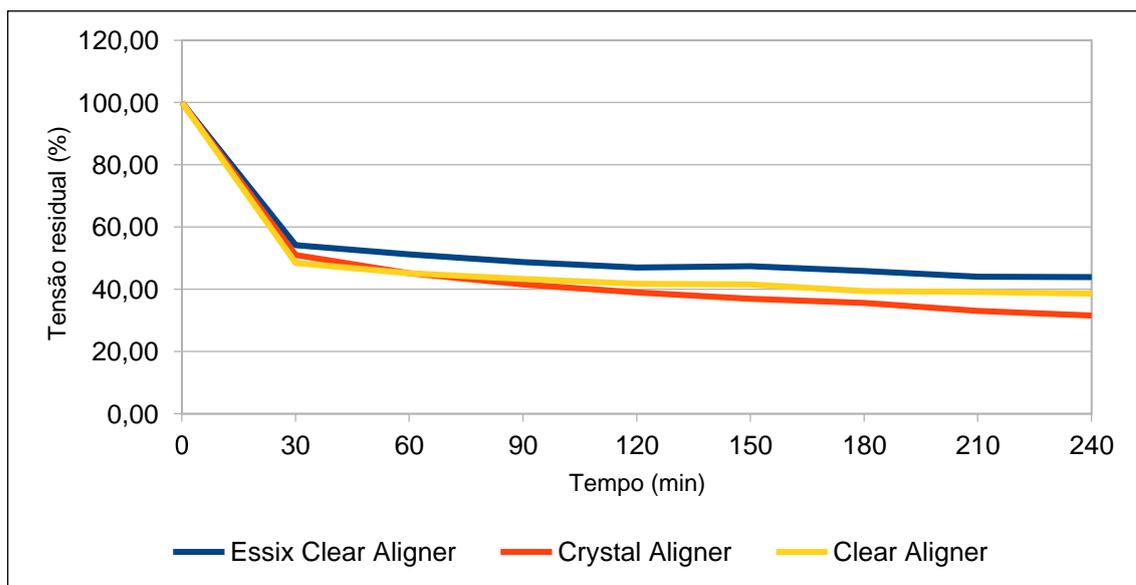


Figura 5 – Desenvolvimento da tensão residual das três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida.

A análise de variância ANOVA aplicada às três marcas revelou a existência de diferenças significativas, conforme tabela 2. Quando comparadas duas a duas, as diferenças foram observadas entre Essix Aligner e Crystal Aligner (tabela 3) bem como entre Essix Aligner e Clear Aligner (tabela 4). A comparação entre Crystal Aligner e Clear Aligner não demonstrou diferença significativa (tabela 5).

ORIGEM DE VARIACÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	286,142	2	143,071	6,939	0,0049	3,467
Dentro dos grupos	432,992	21	20,619			
Total	719,135	23				

Figura 6 - Análise de variância para as três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida - Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIACÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	274,833	1	274,833	10,873	0,0053	4,600
Dentro dos grupos	353,876	14	25,277			
Total	628,709	15				

Figura 7 - Análise de variância para as marcas Essix Aligner e Crystal Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIACÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	125,473	1	125,473	10,589	0,0058	4,600
Dentro dos grupos	165,898	14	11,850			
Total	291,371	15				

Figura 8 - Análise de variância para as marcas Essix Aligner e Clear Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIACÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	28,908	1	29,908	1,169	0,298	4,600
Dentro dos grupos	346,211	14	24,729			
Total	375,119	15				

Figura 9 - Análise de variância para as marcas Clear Aligner e Crystal Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida. Fonte: dados da pesquisa (2019).

DEFORMAÇÃO DE 7,00 MM EM AMBIENTE SECO

O comportamento das amostras com aplicação de deformação de 7,0 mm em condição seca demonstrou maior tensão máxima na marca Clear Aligner (72,63 MPa), seguida de Crystal Aligner (65,81 MPa) e Essix Clear Aligner (65,17 MPa). Após transcorrido o tempo de 240 minutos o melhor desempenho para tensão residual foi obtida pela Clear Aligner (70,54%), seguida por Essix Clear Aligner (65,14%) e Crystal Aligner (62,29%). A tabela 15 demonstra o desempenho das três marcas ao longo do período de 240 minutos em termos de tensão absoluta e seu respectivo desvio padrão (MPa) e tensão residual (%). O desenvolvimento da tensão residual para as três marcas testadas também é ilustrado na figura 5.

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (Mpa)	65,17	48,01	46,36	45,45	44,40	43,95	43,65	43,20	42,59
	Desvio padrão	3,51	5,96	5,96	6,35	6,62	6,64	6,94	6,99	6,83
	Tensão residual (%)	100,0	73,49	70,95	69,55	67,91	67,23	66,74	66,05	65,14
Crystal Aligner	Tensão (Mpa)	65,81	46,08	44,24	43,50	42,58	42,21	41,47	41,29	40,92
	Desvio padrão	8,54	5,97	5,97	5,77	5,35	5,27	5,09	4,85	4,77
	Tensão residual (%)	100,0	70,06	67,22	66,11	64,75	64,20	63,08	62,84	62,29
Clear Aligner	Tensão (Mpa)	72,63	56,40	54,93	53,82	53,09	52,35	51,80	51,24	51,06
	Desvio padrão	6,37	3,08	2,96	2,73	2,40	2,47	2,56	2,31	2,22
	Tensão residual (%)	100,0	77,87	75,84	74,33	73,33	72,30	71,54	70,79	70,54

Figura 10 - Resultados para tensão, desvio padrão e tensão residual para as três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição seca Fonte: dados da pesquisa (2019).

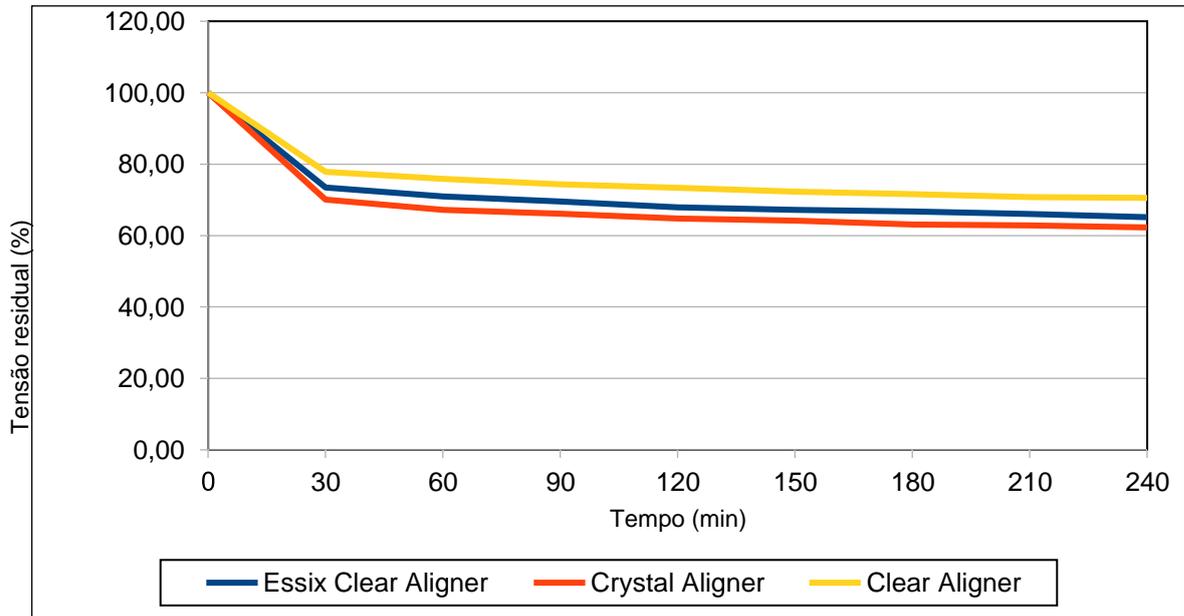


Figura 11 – Desenvolvimento da tensão residual nas três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição seca.

A ANOVA demonstrou a existência de diferenças significativas no conjunto das três marcas (tabela 7) o que se repetiu quando houve a comparação das marcas duas a duas, conforme demonstrado pelas tabelas 8, 9 e 10.

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	275,876	2	173,938	19,468	0,000017	3,467
Dentro dos grupos	148,790	21	7,085			
Total	424,666	23				

Figura 12 - Análise de variância para as três marcas submetidas à deformação de 7,00 mm em condição seca Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	43,994	1	43,994	6,016	0,028	4,600
Dentro dos grupos	102,387	14	7,313			
Total	146,381	15				

Figura 13 - Análise de variância para as marcas Essix Aligner e Crystal Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição seca Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	272,380	1	272,390	40,329	0,000018	4,600
Dentro dos grupos	94,556	14	6.754			
Total	366,927	15				

Figura 14 - Análise de variância para as marcas Clear Aligner e Crystal Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição úmida. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	97,439	1	97,439	13,555	0,002	4,600
Dentro dos grupos	100,637	14	7,188			
Total	198,076	15				

Figura 15 - Análise de variância para as marcas Essix Aligner e Clear Aligner submetidas à deformação de 7,00 mm em condição seca. Fonte: dados da pesquisa (2019).

DEFORMAÇÃO DE 5,00 MM EM AMBIENTE ÚMIDO

Os dados de tensão residual ao longo do tempo demonstram que a marca Clear Aligner apresentou maior tensão inicial (61,57 MPa), seguida de Crystal Aligner (58,43 MPa) e Essix Clear Aligner (52,38 MPa). Essa mesma sequência não se repetiu quando observadas as tensões residuais ao final de 240 minutos, onde o maior valor foi observado para Crystal Aligner (49,54%), seguida de Essix Clear Aligner (44,23%) e Clear Aligner (34,70%). Desta maneira, fica perceptível que uma maior tensão inicial não reflete uma maior tensão residual final, ou seja, a correlação entre a tensão inicial e a tensão residual final é inexistente. Esses valores podem ser observados na tabela 11.

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (MPa)	52,38	31,16	28,14	26,64	25,59	24,83	24,08	23,48	23,03
	Desvio padrão	3,97	2,59	2,99	3,35	3,49	3,49	3,24	3,55	3,39
	Tensão residual (%)	100,00	59,60	53,92	51,06	49,07	47,62	46,26	45,05	44,23
Crystal Aligner	Tensão (MPa)	58,43	33,55	32,63	30,41	30,05	29,49	29,31	28,94	28,94
	Desvio padrão	1,54	2,02	1,54	1,96	2,40	2,69	2,80	2,73	3,10
	Tensão residual (%)	100,00	57,47	55,87	52,07	51,44	50,48	50,16	49,53	49,54
Clear Aligner	Tensão (MPa)	61,57	32,81	28,75	26,36	24,70	23,23	22,67	21,75	21,20
	Desvio padrão	6,97	1,40	1,20	1,05	1,20	1,20	1,24	1,24	1,13
	Tensão residual (%)	100,00	53,80	47,12	43,13	40,43	38,03	37,15	35,64	34,70

Figura 16 - Tensões residuais (%) ao longo do tempo para três marcas de materiais em ensaio úmido. Fonte: dados da pesquisa (2019).

A ANOVA (tabela 12) evidência o elevado valor de F, comparativamente ao valor do F crítico, o que demonstra a existência de diferenças entre as três marcas. Essas diferenças podem ser observadas no gráfico de tensão residual ao longo do tempo (figura 6) no qual é evidente o comportamento particularizado dos materiais desde os 30 minutos de relaxamento, principalmente no caso da Clear Aligner. Quando comparadas as marcas duas a duas, o padrão de diferenciação estatística se repete em todos os casos, conforme pode ser observado pelas ANOVA nas tabelas 13,14 e 15.

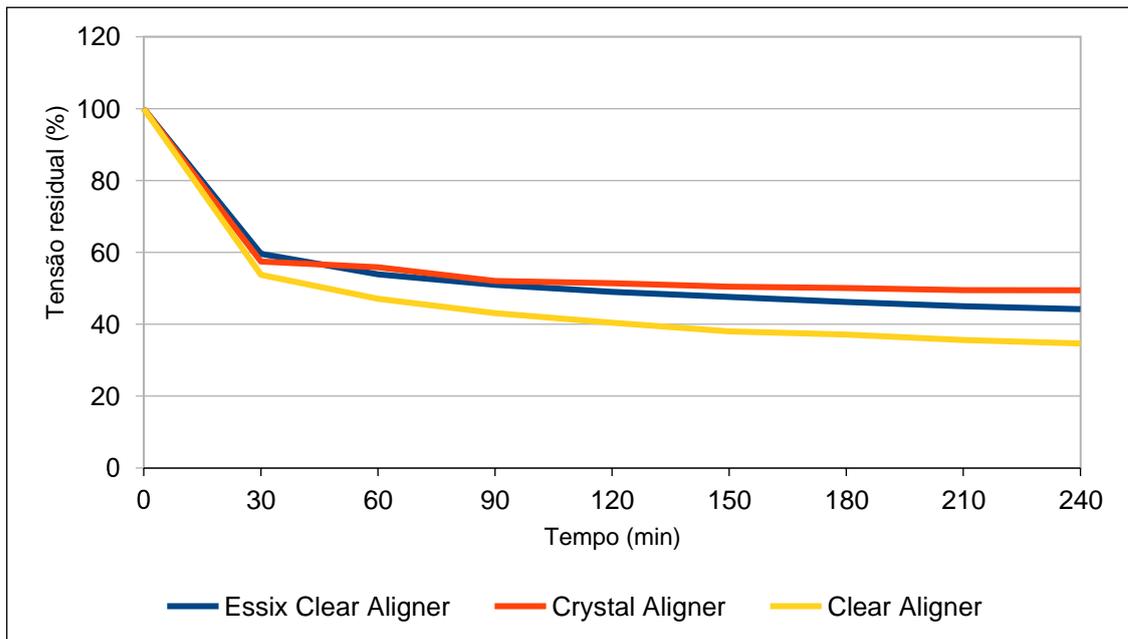


Figura 17 – Gráfico comparativo para tensão residual ao longo do tempo de três marcas submetidas à deformação de 5,0 mm em ambiente úmido.

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	514,466	2	257,233	9,883	0,0009	3,467
Dentro dos grupos	546,587	21	26,028			
Total	1061,054	23				

Figura 18 - Análise de variância para resultados de tensão residual de três marcas testadas em condição úmida e com deformação de 5,0 mm Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	24,389	1	24,389	1,373	0,2609	4,600
Dentro dos grupos	248,750	14	17,768			
Total	273,139	15				

Figura 19 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Essix Clear Aligner e Crystal Aligner em condições úmidas e com deformação de 5,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	468,336	1	468,336	18,170	0,001	4,600
Dentro dos grupos	360,863	14	25,776			
Total	829,199	15				

Figura 20 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Clear Aligner e Crystal Aligner em condições úmidas e com deformação de 5,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	278,974	1	278,974	8,077	0,0131	4,600
Dentro dos grupos	483,562	14	34,540			
Total	762,536	15				

Figura 21 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Clear Aligner e Essix Clear Aligner em condições úmidas e com deformação de 5,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

DEFORMAÇÃO DE 5,00 MM EM AMBIENTE SECO

Nos ensaios em condição seca e deformação de 5,0 mm., os resultados para tensão inicial seguiram a mesma ordem dos ensaios úmidos sendo registrados os valores de 62,49 MPa (Clear Aligner), 54,56 MPa (Crystal Aligner) e 43,35 MPa (Essix Clear Aligner). Este padrão também não se repetiu, quando considerada a tensão residual ao final de 240 minutos, onde a marca Clear Aligner apresentou o maior valor (74,08%), seguida de Crystal Aligner (73,21%) e Essix Clear Aligner (72,24%), conforme tabela 16.

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (MPa)	43,35	34,01	33,26	33,11	32,96	32,21	32,51	31,76	32,06
	Desvio padrão	1,37	2,52	2,09	1,77	2,22	2,22	2,09	2,09	2,30
	Tensão residual (%)	100,00	78,48	76,75	76,41	76,06	74,32	75,01	73,27	73,97
Crystal Aligner	Tensão (MPa)	54,56	43,13	42,40	42,03	41,84	41,29	41,11	41,47	40,74
	Desvio padrão	4,49	3,99	3,96	3,78	3,49	4,09	3,78	3,96	4,14
	Tensão residual (%)	100,00	79,04	77,68	77,03	76,72	75,65	75,34	75,99	74,60
Clear Aligner	Tensão (MPa)	62,49	49,95	49,21	48,66	47,93	47,93	47,74	47,37	46,82
	Desvio padrão	2,72	2,00	1,80	1,77	2,35	1,46	1,77	2,22	1,77
	Tensão residual (%)	100,00	79,96	78,79	77,91	76,71	76,74	76,43	75,82	74,95

Figura 22 - -- Tensões residuais (%) ao longo do tempo para três marcas de materiais em ensaio seco. Fonte: dados da pesquisa (2019).

A ANOVA (tabela 17) demonstrou a inexistência de diferenciação do comportamento dos materiais na condição seca, conforme mostrado pelo gráfico da figura 7.

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	10,779	2	5,390	2,124	0,144549	3,467
Dentro dos grupos	53,293	21	2,538			
Total	64,073	23				

Figura 23 - Análise de variância para resultados de tensão residual de três marcas testadas em condição seca e com deformação de 5,0 mm Fonte: dados da pesquisa (2019).

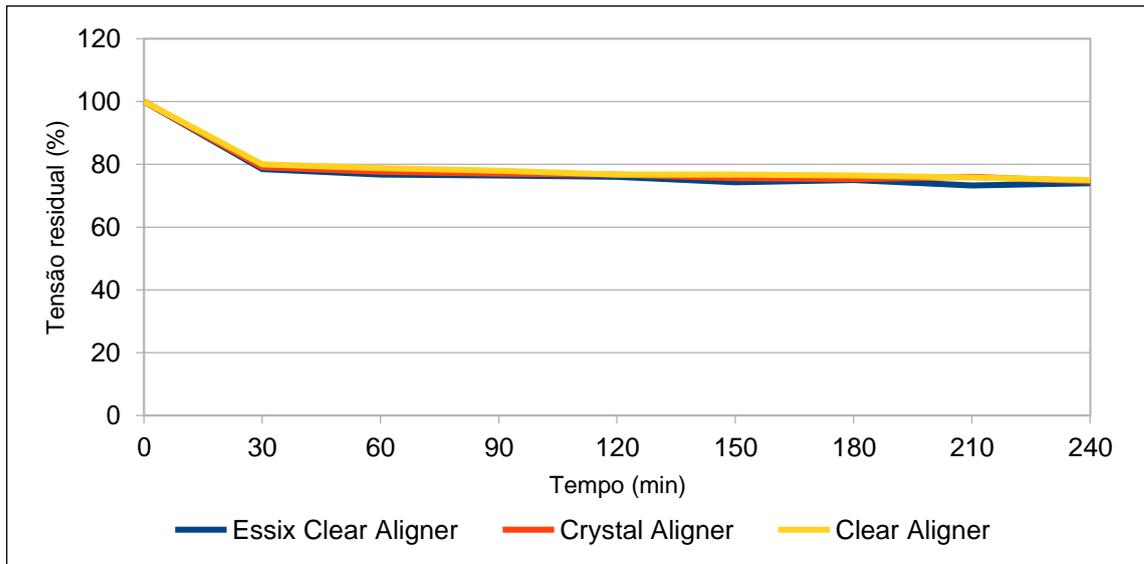


Figura 24 – Gráfico comparativo para tensão residual ao longo do tempo de três marcas submetidas à deformação de 5,0 mm em ambiente seco.

Deformação de 2,00 mm em ambiente úmido

Os dados de tensão residual ao longo do tempo demonstram que a marca Clear Aligner apresentou maior tensão inicial média (22,30 MPa), seguida de Crystal Aligner (19,66 MPa) e Essix Clear Aligner (15,80 MPa). Essa mesma sequência não se repetiu quando observadas as tensões residuais ao final de 240 minutos, onde o maior valor foi observado para Crystal aligner (82,95%), seguida de Essix Clear Aligner (74,22%) e Clear Aligner (67,79%). O comportamento da tensão inicial e da tensão residual quando aplicada a deformação de 2,00 mm é semelhante àquelas quando a deformação é de 5,0 mm, cabendo a mesma observação de que uma maior tensão inicial não reflete uma maior tensão residual final. O desenvolvimento das tensões residuais pode ser observado na tabela o e na figura 8.

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (MPa)	15,80	13,55	13,09	12,64	12,64	12,34	12,19	12,04	11,74
	Desvio padrão	1,92	2,06	1,89	1,87	2,02	1,73	1,87	1,41	1,65
	Tensão residual (%)	100,0	85,50	82,70	79,83	79,78	77,98	76,93	76,27	74,22
Crystal Aligner	Tensão (MPa)	19,66	17,51	16,59	16,28	16,28	16,28	15,98	15,98	16,28
	Desvio padrão	4,16	3,32	3,32	3,24	3,24	3,24	3,24	2,82	3,24
	Tensão residual (%)	100,0	89,36	84,53	82,95	82,95	82,95	81,36	81,66	82,96
Clear Aligner	Tensão (MPa)	22,30	19,35	18,43	17,51	16,96	16,59	15,56	15,67	15,11
	Desvio padrão	1,65	1,72	1,72	1,60	1,91	1,60	1,60	1,72	1,40
	Tensão residual (%)	100,0	86,72	82,57	78,49	75,92	74,34	70,19	70,19	67,79

Figura 25 - Tensões residuais (%) ao longo do tempo após deformação de 2,0 mm para três marcas de materiais em ensaio úmido. Fonte: dados da pesquisa (2019).

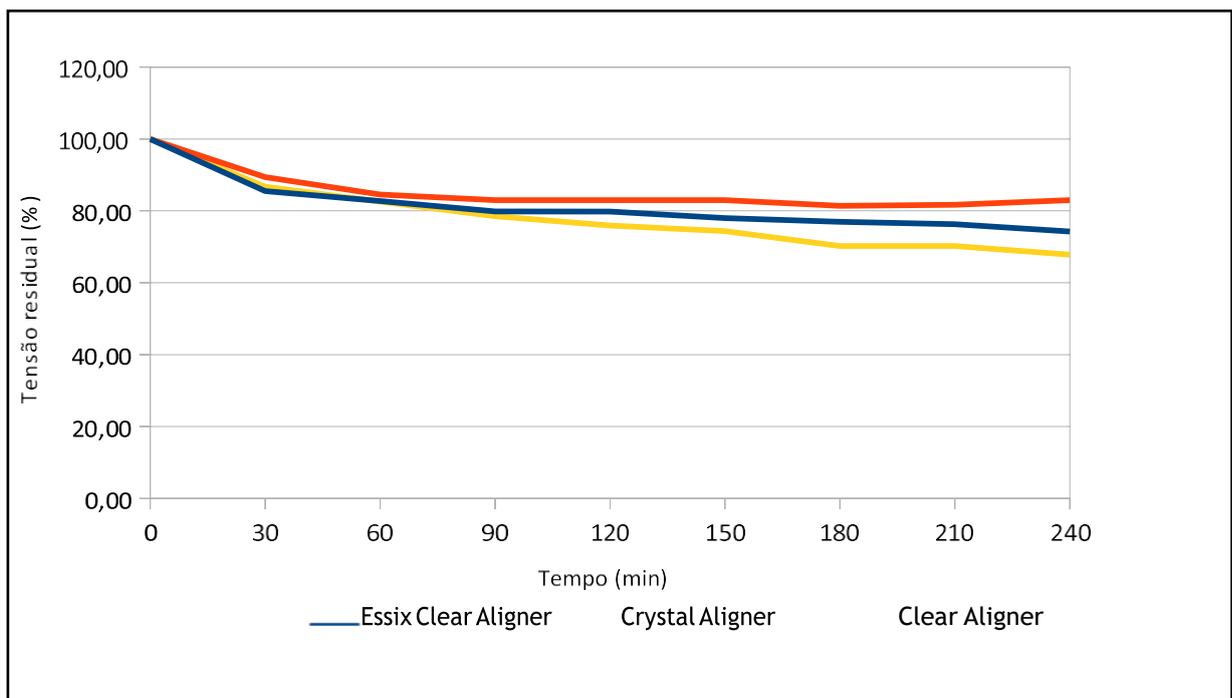


Figura 26 – Gráfico comparativo para tensão residual ao longo do tempo após deformação de 2,0 mm de três marcas em ambiente úmido.

A análise de variância (Figura 30) demonstra a existência de diferença significativa entre as três marcas quanto ao relaxamento da tensão após aplicada a deformação de 2,00 mm. Quando comparadas duas a duas, apenas no caso da Essix Clear Aligner e Clear Aligner não houve diferenciação das tensões residuais (Figura 30). Nas demais comparações, observou-se diferenciação das tensões residuais, conforme ANOVA (figuras 28 e 29).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	245,524	2	122,762	5,875	0,0094	3,467
Dentro dos grupos	438,786	21	20,895			
Total	684,310	23				

Figura 27 - Análise de variância para resultados de tensão residual de três marcas testadas em condição úmida e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	78,658	1	78,658	8,018	0,0131	4,600
Dentro dos grupos	137,349	14	9,811			
Total	216,007	15				

Figura 28 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Essix Clear Aligner e Crystal Aligner em condições úmidas e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	244,031	1	244,031	9,874	0,007	4,600
Dentro dos grupos	346,007	14	24,715			
Total	590,038	15				

Figura 29 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Clear Aligner e Crystal Aligner em condições úmidas e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	45,597	1	35,597	1,619	0,2239	4,600
Dentro dos grupos	394,216	14	28,158			
Total	439,814	15				

Figura 30 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Clear Aligner e Essix Clear Aligner em condições úmidas e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

Deformação de 2,00 mm em ambiente seco.

Nos ensaios em condição seca e deformação de 2,0 mm, os resultados para tensão inicial seguiram a mesma ordem dos ensaios úmidos sendo registrados os valores de 17,70 MPa (Crystal Aligner), 17,16 MPa (Essix Clear Aligner) e 14,75 MPa (Clear Aligner). Este padrão também não se repetiu, quando considerada a tensão residual ao final de 240 minutos, onde a marca Clear Aligner apresentou o maior valor (87,47%), seguida de Crystal Aligner (82,27%)

e Essix Clear Aligner (80,12%), conforme tabela 23.

As curvas de tensão residual (figura 9) demonstram diferenças significativas entre as marcas Clear Aligner e Crystal Aligner (tabela 25) e Essix Clear Aligner e Clear Aligner (tabela 26), demonstrando que a marca Clear Aligner obteve melhor desempenho que as demais. As marcas Essix Clear Aligner e Crystal Aligner não se diferenciaram estatisticamente (tabela 27).

MARCA	PARÂMETROS	TEMPO (MINUTOS)								
		0	30	60	90	120	150	180	210	240
Essix Clear Aligner	Tensão (MPa)	17,16	14,75	14,15	14,00	14,00	14,00	14,00	13,70	13,70
	Desvio padrão	0,98	0,86	0,63	0,86	0,86	0,86	1,14	0,82	0,98
	Tensão residual (%)	100,0	86,22	82,73	81,82	81,86	81,82	81,78	80,00	80,12
Crystal Aligner	Tensão (MPa)	17,70	15,30	14,56	14,93	14,75	14,56	14,56	14,56	14,56
	Desvio padrão	1,51	1,40	1,37	1,20	1,13	1,37	1,20	1,37	1,51
	Tensão residual (%)	100,0	86,45	82,27	84,43	83,38	82,27	82,47	82,27	82,27
Clear Aligner	Tensão (MPa)	14,75	13,13	13,13	13,36	13,36	13,13	12,90	13,13	12,90
	Desvio padrão	0,75	0,88	0,88	1,19	1,19	0,88	1,06	0,88	1,06
	Tensão residual (%)	100,0	89,04	89,04	90,51	90,51	89,04	87,47	89,04	87,47

Figura 31 - Tensões residuais (%) ao longo do tempo após deformação de 2,0 mm para três marcas de materiais em ensaio seco Fonte: dados da pesquisa (2019).

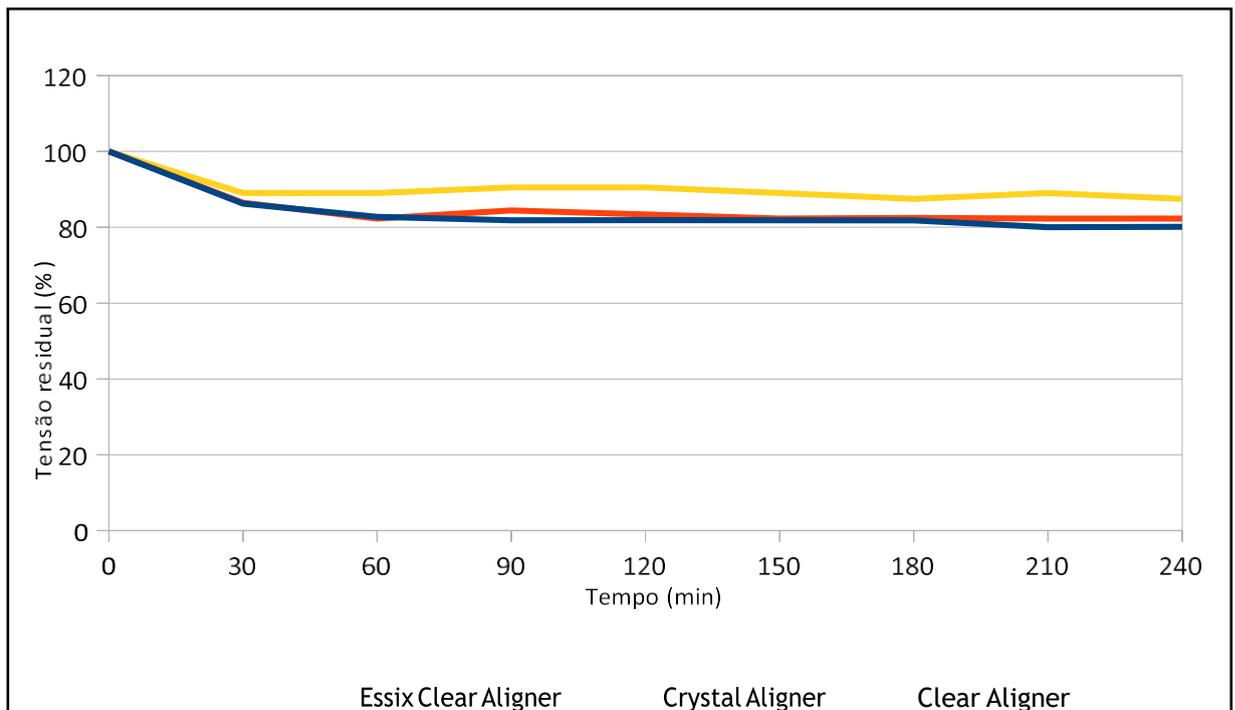


Figura 32 – Gráfico comparativo para tensão residual ao longo do tempo após deformação de 2,0 mm de três marcas em ambiente seco.

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	222,592	2	111,296	45,541	2,3E-08	3,467
Dentro dos grupos	51,321	21	2,444			
Total	273,912	23				

Figura 33 - Análise de variância para resultados de tensão residual de três marcas testadas em condição seca e com deformação de 2,0 mm Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	133,946	1	133,946	74,024	0,000001	4,600
Dentro dos grupos	25,333	14	1,810			
Total	159,279	15				

Figura 34 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Clear Aligner e Crystal Aligner em condições seca e com deformação de 2,0 mm Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	194,330	1	194,339	77,309	074,5E-	4,600
Dentro dos grupos	35,193	14	2,514			
Total	229,532	15				

Figura 35 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Essix Clear Aligner e Clear Aligner em condições seca e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

ORIGEM DE VARIAÇÕES	SS	DF	MS	F	VALOR P	F CRÍTICO
Entre grupos	5,603	1	5,603	1,863	0,194	4,600
Dentro dos grupos	42,115	14	3,008			
Total	47,718	15				

Figura 36 - Análise de variância para resultados de tensão residual entre Essix Clear Aligner e Clear Aligner em condições seca e com deformação de 2,0 mm. Fonte: dados da pesquisa (2019).

DEFORMAÇÃO	AMBIENTE ÚMIDO			AMBIENTE SECO		
	02mm	05mm	07mm	02mm	05mm	07mm
Essix Clear aligner	74,22	44,23	43,88	80,12	73,97	65,14
Crystal Aligner	82,95	49,54	32,79	82,27	74,6	62,29
Clear Aligner	67,79	34,7	38,59	87,47	74,95	70,59

Figura 37 - Relaxamento de estresse residual das marcas Clear Aligner, Crystal Aligner e Essix Clear Aligner, de acordo com a deformação e ambiente. Valores em porcentagem. Fonte: dados da pesquisa (2019).

DISCUSSÃO

As propriedades mecânicas dos alinhadores sofrem interferência de fatores físicos como a termoformagem, temperatura, umidade, de fatores químicos como tipo e proporção dos

materiais utilizados na formação de sua matéria-prima, e de suas características morfológicas de cada marca como espessura, rigidez e cadeia molecular. ^(13,16,17,19)

Com relação aos aspectos físicos é de comum acordo que as propriedades mecânicas dos materiais termoplásticos são afetadas pela mudança de temperatura do ambiente, mesmo assim, até o ano de 2015 apenas um estudo foi executado em ambiente simulando o meio bucal em termos de umidade e temperatura. ⁽¹³⁾

Com sua natureza viscoelástica, os materiais termoplásticos tendem a perder sua capacidade de aplicação de força ao longo do tempo, cabendo ao profissional a escolha por um alinhador com bom módulo elástico e baixo relaxamento. ⁽¹⁴⁾

Alguns problemas em relação às propriedades físicas dos alinhadores vêm chamado atenção, um deles, em relação ao seu desgaste. Os materiais mais utilizados para a fabricação dos alinhadores são o polietileno e o polipropileno e o poliuretano, ambos com suas vantagens e desvantagens. Raja et al testaram o desgaste entre estes materiais concluindo que o polietileno apresentou maior resistência ao desgaste. ⁽¹⁵⁾

Nas três marcas de materiais usadas nesta pesquisa a composição “básica” das amostras é a mesma: o polietileno, o que nos deixou com resultados mais invariáveis, para os testes realizados, quando na comparação entre as marcas.

No que diz respeito às cadeias moleculares da estrutura dos alinhadores, que podem ser amorfa ou parcialmente cristalina, estas também influenciam suas propriedades mecânicas e sofrem influência da termoplastificação, processo este que altera também sua espessura. Alguns alinhadores são feitos de polímeros não organizados que se originam de uma mistura de vários poliésteres os quais, de acordo com sua composição oferecem diferentes resultados, além do que, variando-se a quantidade de seus componentes encontramos variações das características de cada alinhador. ^(16,17)

As forças ortodônticas impostas por um material termoplástico é amplamente

relacionado com suas propriedades mecânicas iniciais bem como à sua espessura, devendo os pesquisadores levar em consideração a espessura e o número de camadas para quando forem testar suas amostras. Outros fatores importantes que também estão relacionados com esta situação são as modificações que podem acontecer ao longo do tempo na composição do biofilme e nas condições ambientais na cavidade oral, comprometendo a capacidade de aplicação de força pelos alinhadores⁽¹⁸⁾. Assim como alterações nas proporções dos materiais constituintes das composições poliméricas (poliéster, poliuretano, polipropileno etc.) feitas para a constituição dos alinhadores podem alterar significativamente as propriedades físicas dos materiais mesmo alterando pequena porção de suas frações, as empresas fabricantes vêm aperfeiçoando cada vez mais seus materiais em busca da composição mais favorável para a movimentação ortodôntica.⁽¹⁹⁾

Neste estudo observou-se que para os testes com deformação de 0.7 mm., em ambiente úmido foram encontradas diferenças significativas entre as marcas exceto na comparação entre as marcas Clear Aligner e Crystal Aligner a qual tiveram seu comportamento sem diferenças significativas, e em ambiente seco foi onde se encontraram a maior diferença comportamental estatisticamente entre as marcas. Já para os testes com deformação de 0.5 mm., foi encontrada a maior variação de comportamento entre as marcas em diferentes condições ambientais, pois se quando em ambiente úmido as amostras apresentaram diferenças significativas entre todas as marcas, em ambiente seco as amostras não apresentaram as mesmas diferenças. Quando os testes foram feitos com 0.2 mm de deformação, também foram observadas diferenças significativas, exceto entre as marcas Essix Clear Aligner e Clear Aligner que não apresentaram diferenças estatísticas significativas para o teste em ambiente úmido e entre as marcas Crystal Aligner e Essix Clear Aligner que também não se diferenciaram estatisticamente quando testadas em ambiente seco.

Comparando o comportamento das amostras ao seu relaxamento final, isto é, a tensão a

residual ao final dos 240 minutos de teste, que é maior objetivo deste trabalho pois este comportamento influencia diretamente o desempenho que o alinhador apresenta quando empregado para realizar determinada movimentação ortodôntica, o menor grau de relaxamento, nos testes em ambiente úmido, para a deformação de 0.7mm, o material que demonstrou melhor desempenho foi a marca Essix Clear Aligner, com 43,88% de tensão residual, já para a deformação de 0.5mm e 0.2mm o melhor desempenho foi observado nas amostras da marca Crystal Aligner, com 49,54% e 82,95 de tensão residual, respectivamente. Já para os testes em ambiente seco, vale sobressaltar o desempenho das amostras da marca Clear Aligner que revelaram os melhores resultados para as três medidas de deformação obtendo uma média de 77% de tensão final.

No que diz respeito ao tempo de duração do teste, Fang et al (6) experimentou um teste de relaxamento com duração de 180 minutos no qual obteve resultados que também observaram que as propriedades mecânicas dependem do tipo do material e das condições ambientais tendo na umidade e temperatura grandes variantes de seu comportamento mas com seu mecanismo de interação ainda incerto. Em seus testes laboratoriais Fang et al notaram dados semelhantes a esta pesquisa no que diz respeito a perda da força inicial em suas amostras de 42 – 66% nas primeiras 03 horas, sendo que um terço dessa perda foi na primeira hora.

Já Lombardo et al ⁽⁵⁾ utilizando a metodologia adotada como referência nesta pesquisa, observaram em seus resultados uma perda de 40% na tensão média de suas amostras nas primeiras 08 horas e de cerca de até 54% no tempo restante tornando os resultados dos estudos convergentes em suas conclusões. Lombardo et al realizaram seus testes com duração de 24 horas aumentando assim o tempo de observação para o comportamento das amostras em relação ao tempo proposto por Fang et al. e, avaliando que o relaxamento entra em um platô de estabilidade no decorrer de pouco mais dos 30 minutos de teste foi resolvido não alongar por mais tempo nossos experimentos conforme proposto por aquele autor.

CONCLUSÕES

- a) Nos ensaios úmidos, a marca Crystal Aligner foi a que menor interferência sofreu, obtendo melhor desempenho na tensão residual, enquanto a Clear Aligner demonstrou-se mais sensível aos efeitos da umidade, remanescendo menos de 30% da tensão inicial.
- b) O padrão comportamental das amostras dificilmente se repete quando levamos em consideração sua tensão inicial e final, com as marcas das amostras se alternado nas qualificações de desempenho.
- c) As marcas podem sim variar seu desempenho ortodôntico, devendo o profissional escolher com critérios seu alinhador.
- d) Uma amostragem mais ampla é indicada para futuros estudos.

REFERÊNCIAS

1. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod.* 1945;31(6):297-304.
2. Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, Cha JY, Kim KM. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for orthodontic aligners. *Korean J Orthod.* 2018;48(5):316-25.
3. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(5):578-81.
4. Elhaddaoui R, Qoraich HS. Orthodontic aligners and root resorption: a systematic review. *Int Orthod.* 2017;15(1):1-12.
5. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica M, Siciliani S. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017;87(1):11-8.
6. Fang D, Zhang N, Chen H, Bai Y. Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dent.Mater J.* 2013;32(6): 946–51.
7. Kravitz ND, Kusnoto B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):27-35.

8. Wasilkoski CM. Comportamento mecânico dos materiais poliméricos. [Tese] Universidade Federal do Paraná; 2006.
9. Massucato F, Martins GL, Da Silva H, Silva TPP, De Paula TR. Análise das propriedades mecânicas de materiais poliméricos. [Tese] Unicamp; 2010.
10. Khoda N, Lijima M. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *Angle Orthod.* 2013;83(3):476-83.
11. Jóias RP. Aparelhos ortodônticos sequenciais removíveis. *RFO* 2011;16(3):332-6.
12. Schuster S. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126(6):725-8.
13. Iijima M, Kohda N, Kawaguchi K. Effects of temperature changes and stress loading on the mechanical and shape memory properties of thermoplastic materials with different glass transition behaviours and crystal structures. *Eur J Orthod.* 2015;37(6):665-70.9
14. Zhang N1, Bai Y, Ding X, Zhang Y. Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dent Mater J.* 2011;30(6):954-9.
15. Raja TA, Littlewood SJ. Wear resistance of four types of vacuum-formed retainer materials: a laboratory study. *Angle Orthod.* 2014 Jul;84(4):656-64.
16. Riokawa H, Miyazaki Y. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontics Wave.* 2006 Jun 2;(65):64-72.
17. Ma YS, Fang DY, Zhang N, Mechanical Properties of Orthodontic Thermoplastics PETG/ PC2858 after Blending. *Chin J Dent Res.* 2016 Mar;19(1):43-8.
18. Bradley TG, Teske L. Do the mechanical and chemical properties of Invisalign™ appliances change after use? A retrieval analysis. *J Orthod.* 2016 Feb;38(1):27-31.
19. Condo' R, Pazzini L, Cerroni L. Mechanical properties of "two generations" of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dent Mater J.* 2018 Sep 30;37(5):835-42.
20. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Jul;136(1):12.e1-7.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico:

Angle Orthodontist.

Absorção de água pelas placas de polímeros de alinhadores ortodônticos: estudo in vitro

Luiz Henrique Baniski¹
Ricarda Duarte da Silva²

¹ Mestrando da Faculdade ILAPEO

² Doutora em Ciências Odontológicas pela Universidade de São Paulo – USP

Resumo

Trata-se de estudo in vitro que tem por objetivo investigar o comportamento físico das placas de material termoplástico com as quais são confeccionados os diferentes alinhadores dentários. Para tanto foram utilizadas 15 corpos de prova sendo 5 corpos de prova de cada uma das seguintes marcas comerciais: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha) Crystal Aligner (MG – Brasil) e Essix Clear aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA), os quais foram submetidos a um teste de absorção de água em ambiente semelhante as condições intraorais em temperatura e umidade. As amostras das diferentes marcas tiveram seu peso aferido precisamente e previamente à imersão com duração de 24hrs em água destilada à 37 °, O peso das amostras foram então novamente aferidos para calcular um eventual ganho de massa devido a uma possível absorção de água em sua composição tendo seus resultados avaliados e comparados entre sí.

Palavras-chave: Ortodontia, Alinhadores ortodônticos, Absorção de água.

Abstract

It's in vitro study that aims to investigate the physical behaviour of thermoplastic material with which are made from different dental aligners. To do so will be used 15 specimens, being 5 specimens of each following trademark: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha) Crystal Aligner (MG – Brasil) e Essix Clear aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA), which were tested in similar environment intraoral conditions in temperature and. Samples of the different brands had your weight measured precisely and prior to your storage during 24 hours in humid environment with a temperature of 37°, After that the samples had so your weight again evaluated to calculate any gain dough due to a possible water absorption in your composition having their results compared each other.

Keywords: Oerthodontis; Dental Aligners; Wather absortion.

INTRODUÇÃO

O alinhador ortodôntico tornou-se a modalidade de tratamento que a maioria dos ortodontistas e Clínico-gerais estão utilizando dentro de um pouco mais de uma década após o seu desenvolvimento. ⁽⁰¹⁾

Um estudo realizado em 2009 mostrou que 84,06% dos pós-graduandos em ortodontia planejam usar alinhadores e 63,04% planeja usar bráquetes auto ligáveis. Também foi realizado outro estudo ainda no mesmo ano, sobre as motivações e os planos de futuros ortodontistas canadenses determinando que, novamente, quase 80% deles estarão utilizando alinhadores em suas práticas após a graduação. ⁽⁰²⁾

Ortodontistas de hoje estão começando a concentrar-se na perspectiva do paciente frente ao tratamento. Um trabalho realizado, apontando para a atratividade, aceitação, e valor de aparelhos ortodônticos, foi desenvolvido da seguinte forma: cinquenta adultos foram convidados a classificar por aparência três categorias de aparelhos que são rotineiramente usados: 1) Alinhadores estéticos e aparelhos linguais, 2) aparelhos de cerâmica e 3) aparelhos de aço inoxidável, e a sua conclusão foi que alinhadores e aparelhos linguais foram preferidos a todos os aparelhos fixos, tanto cerâmicos quanto de aço inoxidável. Além disso, os 50 adultos entrevistados na pesquisa estavam mais dispostos a pagar mais para os aparelhos que eles consideravam mais estéticos. ^(03,04)

Além de estética, alinhadores poderiam oferecer outras vantagens aos seus usuários, tais como o não impedimento de procedimentos de higiene bucal, reduzindo as restrições alimentares e, possivelmente, minimizando o risco de descalcificação, cáries, gengivite e doença periodontal. ⁽⁰¹⁾

Desde os estágios iniciais de desenvolvimento, e com a popularização do sistema junto à comunidade ortodôntica, muitas melhorias técnicas têm sido implementadas. Os fabricantes dos alinhadores estão constantemente tentando melhorar seu produto na tentativa de expandir

as possibilidades de tratamento, incluindo casos mais complexos. ⁽⁰⁵⁾

Diferentemente dos aparelhos metálicos convencionais, a qualidade da força exercida por um alinhador depende muito das propriedades mecânicas do material. ⁽⁰⁶⁾

Os materiais utilizados mais comumente para a fabricação dos alinhadores são o polietileno tereftalato glicol-modificado (PET-G), o polipropileno, policarbonatos (PC), e o poliuretano (TPU), cada respectivo material com sua peculiaridade como: translucidez, elasticidade, rigidez, absorção de água etc. ⁽⁰⁷⁾

Sobre as propriedades mecânicas dos materiais termoplásticos, testes em ambiente normal e simulado para determinar a diferença das forças geradas pelos alinhadores no ambiente oral relatam que como os polímeros termoplásticos são altamente viscoelásticos, a temperatura, umidade, tempo de tensão e procedimentos de termoformagem apresentam efeitos marcantes em suas propriedades mecânicas. ⁽⁰⁸⁾

Também sobre as propriedades mecânicas dos alinhadores ortodônticos, essas podem sofrer alterações com a variação da temperatura proporcionadas pelo meio intra-oral, estudos comprovam que alterações das propriedades mecânicas dos alinhadores podem ser causadas pela absorção de água e variações térmicas, e também que seu stress diminui com o tempo e isto se acelera significativamente com a umidade e com o aumento da temperatura sugerindo mais pesquisas nesta área. ⁽⁰⁹⁾

Resultados de testes feitos em materiais termoplásticos em ambiente normal ou laboratorial são comuns, mas em ambiente que simulam as condições orais como umidade e temperatura, são dificilmente encontrados. ⁽⁰⁸⁾

Segundo Proffit, a força ortodôntica ideal sugerida para a movimentação de um dente é entre 35-60g, e os alinhadores liberam cerca de 42-66% de sua força inicial depois de sua imersão em água a 37° durante 03 hrs. Portanto, dependendo das propriedades mecânicas dos alinhadores, a força inicial “ideal” pode não ser capaz de ativar o processo biomecânico no

ligamento periodontal durante todo seu tempo em boca. ⁽¹⁰⁾

No que diz respeito à estrutura molecular dos alinhadores, essas podem ser classificadas em amorfas ou parcialmente cristalinas, e estes fatores estruturais de sua composição podem ocasionar grandes diferenças nas propriedades mecânicas dos alinhadores, que variam de acordo com o grau de cristalinidade, pois enquanto os polímeros com estrutura mais cristalinas se mantêm firmes e intactos, polímeros amorfos, sem regiões cristalinas em sua estrutura, são macios, flexíveis e com alta viscosidade. A absorção de água causa alteração na estrutura polimérica devido às pontes de hidrogênio se ligarem a água nos espaços existentes entre as cadeias macromoleculares, fazendo com que a água penetre assim em sua região amorfa, ou seja, quanto menos região cristalina apresentar o polímero constituinte do alinhador, maior a absorção. ⁽⁰⁹⁾

Pesquisadores com Riokawaa também desenvolveram uma pesquisa em 2006, onde testou a absorção de água pelos materiais e concluindo está absorção depende do livre volume intermolecular, e relatou também que alinhadores feitos de materiais com estrutura cristalina, por apresentarem maior densidade molecular, demonstraram menores índices de absorção enquanto que materiais com estrutura amorfa, que não contém regiões cristalinas em sua composição mostraram um maior grau de absorção. ⁽⁰⁸⁾

Na composição dos materiais termoplásticos, pode haver uma mistura com diversas quantidades de polímeros, dentre eles polietileno, policarbonato, poliéster, polipropileno e poliuretanos, e o grau de absorção está intimamente relacionado com a proporção presente de cada um destes materiais, em seu estudo sobre a preparação e caracterização de materiais termoplásticos para “alinhadores invisíveis” Ning Zhang em 2011⁽⁰⁶⁾ confirmou, depois da comparação de suas amostras, que quanto maior a proporção de poliuretano na mistura de polímeros maior o índice de absorção de água pelo material.

O processo de termo formagem, devido a variação de temperatura que ocorre em seu

processo, também é responsável por uma grande alteração nas propriedades mecânicas dos alinhadores.⁽⁰⁸⁾

É de comum acordo entre a maioria dos autores, senão em sua totalidade, que os alinhadores sofrem interferência do meio ambiente em que se encontram, sendo assim, realizamos este estudo no intuito de comparar a absorção de água sofrida pela estrutura de alinhadores de três diferentes marcas.

Cabe então ao ortodontista procurar conhecer e interpretar as características físicas do alinhador de sua preferência para indicar com mais segurança o tratamento aos seus pacientes.

METODOLOGIA

O estudo percorreu os caminhos da chamada pesquisa *in vitro*. A amostra foi constituída por placas originárias de alinhadores ortodônticos, os corpos de prova foram das seguintes marcas: Clear Aligner (Sheu Dental, AM Burgberg – Alemanha), com espessura de 0,75mm; Crystal Aligner (Crystaltech MG – Brasil) com 0,75 mm e Essix Clear aligner (Dentsply Sirona, York, Pensilvânia - EUA) de 0,88 mm de espessura. Totalizando 15 corpos de provas, sendo 05 de cada marca comercial, cujas placas foram recortadas de acordo com as normas da ASTM D790, por equipamento de precisão à laser (Superior Technologies – Índia) nas medidas de 50mm x 25mm, os quais serão testados em ambiente que simulem as condições intraoral de umidade e temperatura, para futura avaliação de absorção de água e comparação entre as marcas.

As amostras foram previamente pesadas com equipamento de precisão (balança semianalítica AD 500, Santa Rita Do Sapucaí, MG – Brasil) sendo que posteriormente, cada amostra foi conservada em imersão em água destilada à aproximadamente 37°C ±2°C por um período de 24 horas, tendo seu peso aferido novamente após imersão para comparação entre os pesos antes e depois deste processo.

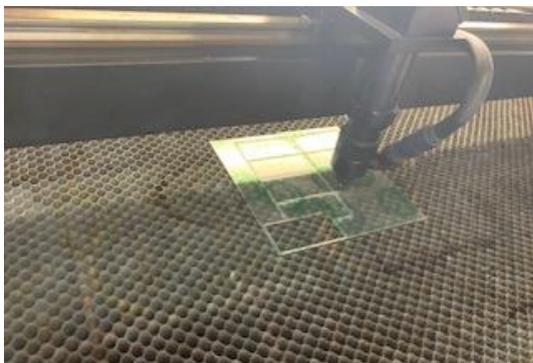


Figura 1 - Máquina de recorte à laser



Figura 2 - Balança de precisão

RESULTADOS

As amostras testadas tiveram seus pesos medidos antes (tempo 1) e depois (tempo 2) de sua imersão em água destilada em temperatura de 37°C com variação de até 2°C para menos devido as variações na temperatura da água durante a troca das amostras e obtiveram os seguintes resultados:

	Marca					Marca					Marca				
	Clear Aligner					Crystal Aligner					Essix Aligner				
Amostra	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Tempo 1	1,284	1,274	1,292	1,266	1,261	1,259	1,268	1,283	1,272	1,270	1,395	1,448	1,405	1,384	1,412
Tempo 2	1,285	1,271	1,292	1,265	1,266	1,265	1,271	1,285	1,273	1,272	1,396	1,446	1,408	1,401	1,412

Figura 3 - Dados das amostras em gramas antes e depois da imersão.

Os dados de absorção foram determinados a partir da medição da massa antes e após a submersão dos corpos de prova em água, por um período de 24 horas. Com as massas obtidas, aplicou-se a expressão para determinação do percentual de absorção de água. Os dados brutos resultantes desta expressão foram submetidos ao processo de saneamento, segundo o Critério de Chauvenet, que considera uma razão máxima aceitável entre o desvio médio e o desvio padrão da população estudada, a fim de eliminar dados discrepantes. Os dados brutos e o

resultado da aplicação do Critério de Chauvenet são mostrados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente para as marcas Clear Aligner, Crystal Aligner e Essix Clear Aligner.

$$Ab = \frac{(M^f - M^i) \times 100}{M^i}$$

Onde:

Ab – absorção de água (%);

M_f – massa final (g);

M_i – massa inicial (g)

Tabela 2 –.

CP	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Absorção saneada (%)
A	1,284	1,285	0,078%	0,078%
B	1,274	1,271	-0,235%	-0,235%
C	1,292	1,292	0,000%	0,000%
D	1,266	1,265	-0,079%	-0,079%
E	1,261	1,266	0,397%	0,397%
Média				0,032%
Desvio padrão				0,234%

Figura 4 - Dados brutos e dados saneados de absorção de água para corpos de prova (CP) da marca Clear Aligner.

CP	MASSA INICIAL (G)	MASSA FINAL (G)	ABSORÇÃO (%)	ABSORÇÃO SANEADA (%)
A	1,259	1,265	0,477	
B	1,268	1,271	0,237	0,237
C	1,283	1,285	0,156	0,156
D	1,272	1,273	0,079	0,079
E	1,27	1,272	0,157	0,157
Média				0,157%
Desvio padrão				0,064%

Figura 5 - Dados brutos e dados saneados de absorção de água para corpos de prova (CP) da marca Crystal Aligner.

CP	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Absorçãosaneada(%)
A	1,395	1,396	0,072%	0,072%
B	1,448	1,446	-0,138%	-0,138%
C	1,405	1,408	0,214%	0,214%
D	1,384	1,401	1,228%	
E	1,412	1,412	0,000%	0,000%
Média				0,037%
Desvio padrão				0,147%

Figura 6 - Dados brutos e dados saneados de absorção de água para corpos de prova (CP) da marca Essix Aligner.

A comparação da absorção de água entre as marcas analisadas demonstrou valor médio superior para Crystal Aligner (0,157%), seguida por Essix Aligner (0,037%) e Clear Aligner (0,032%), cujos valores podem ser visualizados na figura 1. Apesar da marca Crystal Aligner demonstrar uma média de absorção superior, a ANOVA (tabela 4) evidência não haver diferenças significativas entre as três marcas. Este fato pode ser explicado pela amplitude dos valores observados para a absorção de água (figura 2), o que corrobora com os valores de desvio padrão. Apesar de o maior valor médio de absorção, a marca Crystal Aligner apresentou menor desvio padrão, indicando melhor estabilidade no desempenho de absorção de água.

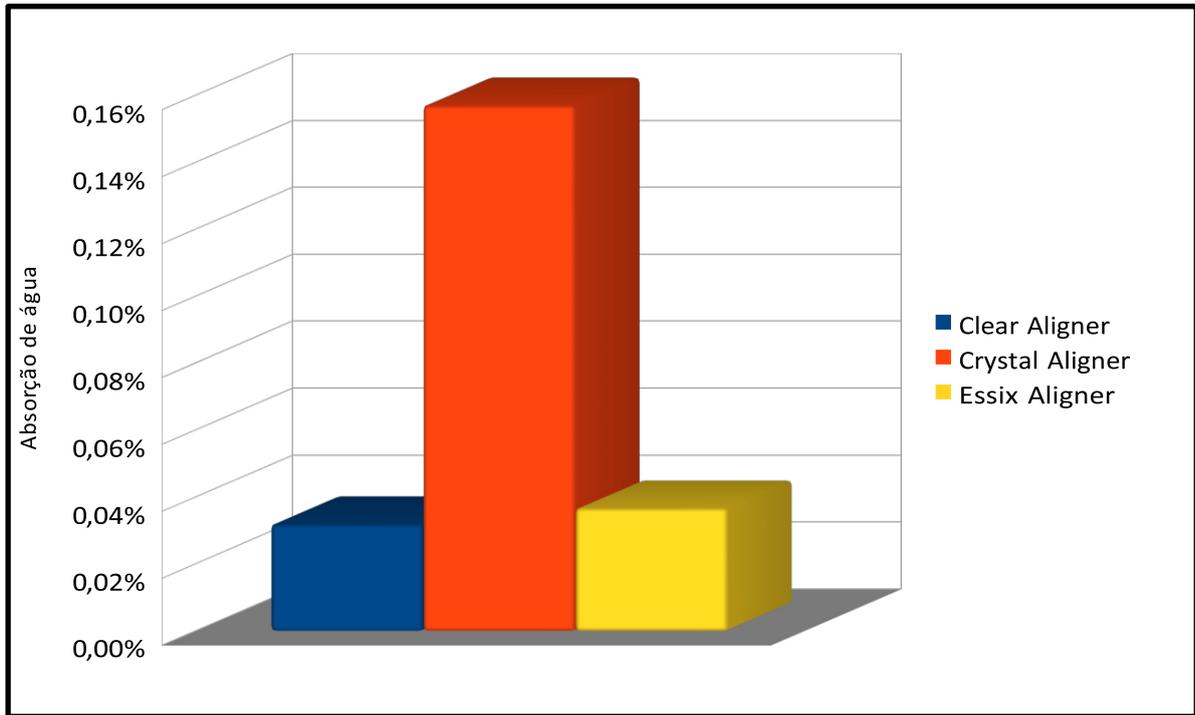


Figura 7 – Absorção média de água para as marcas testadas

Origem de variações	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico
Entre grupos	4,197E-06	2	2,098E-06	0,7071	0,5161	4,1028
Dentro dos grupos	2,967E-05	10	2,967E-06			
Total	3,387E-05	12				

Figura 8 - Análise de variância para teste de absorção.



Figura 9 – Dados individuais de absorção de água para os corpos de prova das três marcas analisadas.

DISCUSSÃO

A técnica ortodôntica através do uso de alinhadores pelos ortodontistas está aumentando cada vez mais, e à medida que seu uso torna-se mais popular aumenta a demanda principalmente de pacientes adultos, os quais em sua grande maioria acabam optando por esta técnica de tratamento ortodôntico devido ao seu conforto e estética, e devido ao grande interesse pela técnica impera-se a lei da oferta e da procura na qual surgem inúmeras marcas de alinhadores, cada um com seu meio de produção particular, e é por esse motivo que se justifica o desenvolvimento de estudos sobre suas propriedades mecânicas, as quais estão diretamente ligadas na habilidade do aparelho realizar movimentações ortodônticas.

As propriedades mecânicas dos alinhadores sofrem interferência de fatores externos como a termoformagem, temperatura, umidade, tipo e proporção dos materiais utilizados na formação de sua matéria-prima e de suas características morfológicas como espessura, rigidez e cadeia molecular de sua composição. Com relação aos aspectos físicos é de comum acordo que as propriedades mecânicas dos materiais termoplásticos são afetadas pela mudança de temperatura do ambiente, mesmo assim, até 2015 apenas um estudo foi executado em ambiente simulando o meio bucal em termos de umidade e temperatura.⁽¹³⁾

Como um alinhador deve exercer força ortodôntica controlada e contínua sobre os dentes, então torna-se muito importante conhecer seus efeitos a longo prazo. A força aplicada pelos alinhadores aos dentes possui atuação em curto prazo, iniciando assim que inserido no arco, e a longo prazo, durante os dias em que o alinhador fica mantido em boca até sua troca (15 dias). Na sua influência de curto prazo exerce força contínua na dentição à medida em que se deforma e procura recuperar sua forma original devido as suas propriedades elásticas, e, a longo prazo, sofrendo influência das cargas mastigatórias e de uma possível pressão interoclusal durante o sono, aplicando assim forças intermitentes ao dente ou ao arco como um todo.

Com sua natureza viscoelástica, os materiais termoplásticos tendem a perder sua

capacidade de aplicação de força ao longo do tempo, cabendo ao profissional a escolha por um alinhador com bom módulo elástico e alto rendimento. ⁽¹⁴⁾

Alguns problemas em relação às propriedades físicas dos alinhadores vêm chamando atenção, um deles relacionado ao seu desgaste. Os materiais mais utilizados para a fabricação dos alinhadores são o polietileno e o polipropileno e o poliuretano, ambos com suas vantagens e desvantagens. Raja et al testaram o desgaste entre estes materiais através de testes mecânicos concluindo que o polietileno apresentou maior resistência ao desgaste. ⁽¹⁵⁾

No que diz respeito às cadeias moleculares da estrutura dos alinhadores, que podem ser amorfas ou parcialmente cristalinas, estas também interferem em suas propriedades mecânicas e sofrem influência da termoplastificação, processo este que altera também sua espessura. Alguns alinhadores são feitos de polímeros não organizados que se originam de uma mistura de vários poliésteres os quais, de acordo com sua composição oferecem diferentes resultados nas propriedades mecânicas, ou seja, variando-se a quantidade de seus componentes encontramos variações das características no desempenho de cada alinhador. ^(16,17)

Ryokawa em 2006, realizou estudos mecânicos em alinhadores comparando seus desempenhos em ambiente seco e simulando as condições bucais chegando à conclusão que a absorção de água apresentada por todos os tipos de polímeros aumenta com o tempo, e que polímeros com estruturas amorfas como o poliuretano, tiveram maiores índices de absorção de água que os com estruturas cristalinas. ⁽¹⁶⁾

As forças ortodônticas impostas por um material termoplástico é amplamente relacionado com suas propriedades mecânicas iniciais e especialmente à sua espessura, outros fatores importantes que também estão relacionados com esta situação são as modificações que podem acontecer ao longo do tempo na composição do biofilme e as condições ambientais na cavidade oral, comprometendo a capacidade de aplicação de força pelos alinhadores. ⁽¹⁸⁾

Alterações nas proporções dos materiais constituintes das composições poliméricas

(poliéster, poliuretano, polipropileno etc.) dos alinhadores podem alterar significativamente as propriedades físicas dos materiais mesmo alterando pequena porção de suas frações, e as empresa fabricantes vêm aperfeiçoando cada vez mais seus produtos em busca da composição mais favorável para a movimentação ortodôntica.⁽¹⁹⁾

Também foi comprovada a influência da espessura dos alinhadores na movimentação ortodôntica, Wolram Hahn, comentou o mesmo teste utilizado por esta pesquisa (teste de três pontos) para ressaltar que modificando a espessura dos alinhadores modifica-se a força exercida pelo aparelho sobre a dentição, alterando a espessura de um material, pode-se alterar sua rigidez e seu módulo de elasticidade, situações que apresentam correlação direta na movimentação ortodôntica, contribuindo para o aumento ou diminuição da eficácia do aparelho alinhador.⁽²⁰⁾

Em nossa pesquisa concluímos que, em condições intraorais realmente existe um grau de absorção para cada amostra e que isso interfere em suas propriedades mecânicas, nos resultados dos testes realizados, observamos que apesar da marca Crystal Aligner apresentar maior média de absorção, também demonstrou melhor estabilidade, com o segundo maior índice seguido pela marca Essix Clear Aligner e com menor média de absorção a marca Clear Aligner

Perante a coleta dos dados de cada amostra, e de acordo com nossos resultados, essas diferenças nos índices de absorção são consideradas estatisticamente insignificantes o que nos leva a considerar que a absorção de água obtida pelos materiais das três marcas de amostras não interferem no comportamento mecânico de seus alinhadores, não modificando assim seu desempenho na movimentação ortodôntica.

Pesquisas futuras poderão ser feitas no sentido de avaliar a absorção por período de tempo maior, como 15 dias, que é o tempo médio de uso pelo paciente, e com uma maior variação de marcas e aumento de número de amostras.

CONCLUSÃO

Sobre este estudo, as conclusões feitas foram:

- A absorção de água pelos polímeros pode variar conforme a cadeia molecular de sua estrutura, (amorfa ou cristalina).
- A absorção de água por parte dos alinhadores pode comprometer seu desempenho mecânico.
- As três marcas de amostras submetidas ao teste de imersão não apresentaram significantes índices de absorção de água, bem como variações desses índices entre elas.
- Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de maior número de corpos de prova.

REFERÊNCIAS

1. Mehra T, Nanda RS, Sinha PK. Orthodontists assessment and management of patient compliance. *Angle Orthod.* 1998 Apr;68(2):115-22.
2. Miller RJ, Derakhshan M. The Invisalign system: case report of a patient with deep bite, upper incisor flaring, and severe curve of Spee. *Semin Orthod.* 2002;(8):43-50.
3. Lagravere MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic appliances: a systematic review. 2005;136:1724-9.
4. Miller KB, Mcgorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmut Er M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Mar;131(3):302.e1-9
5. Schupp W, Haubrich J, Neuman NI. Class II Correction with the Invisalign System. *J Clin Orthod.* 2010 Jan;44(1):28-35
6. Zhang N, Bai Y, Ding X, Zhang Y. Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dent Mater J.* 2011;30(6):954-9.
7. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica M, Siciliani S. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017; 87(1):11-18.
8. Riokawa H, Miyazaki Y. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontics Wave.* 2006 Jun 2; (65):64-72.
9. Iijima M, Kohda N, Kawaguchi K. Effects of temperature changes and stress loading

on the mechanical and shape memory properties of thermoplastic materials with different glass transition behaviours and crystal structures. *Eur J Orthod.* 2015 Dec; 37(6):665-70.9

10. Fang D, Zhang N, Chen H, Bai Y. Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dent.Mater J.* 2013; 32(6): 946–951.
11. Kesling HD: The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod.* 1945;31:297-304
12. Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, Cha JY, Kim KM. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for orthodontic aligners. *Korean J Orthod.* 2018; 48(5):316-325.
13. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(5):578-81.
14. Elhaddaoui R, Qoraich HS. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. *Int Orthod.* 2017;15(1):1-12.
15. Kravitz ND, Kusnoto B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):27-35.
16. Wasilkoski CM. Comportamento mecânico dos materiais poliméricos. [Tese] Universidade Federal do Paraná; 2006.
17. Massucato F, Martins GL, Da Silva H, Silva TPP, De Paula TR. Análise das Propriedades Mecânicas de Materiais Poliméricos. [Tese] Unicamp; 2010.
18. Jóias RP. Aparelhos ortodônticos sequenciais removíveis. *RFO* 2011;16(3): 332-336.
19. Schuster S. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004; 126(6):725-8.
20. Raja TA, Littlewood SJ. Wear resistance of four types of vacuum-formed retainer materials: a laboratory study. *Angle Orthod.* 2014 Jul;84(4):656-64
21. Riokawa H, Miyazaki Y. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontics Wave.* 2006 Jun 2; (65):64-72.
22. Ma YS, Fang DY, Zhang N. Mechanical properties of orthodontic thermoplastics PETG/ PC2858 after blending. *Chin J Dent Res.* 2016 Mar; 19(1):43-8.
23. Pascual AL, Beeman CS, Hicks EP. The essential work of fracture of thermoplastic orthodontic retainer materials. *Angle Orthod.* 2010 May;80(3):554-61.
24. Bradley TG, Teske L. Do the mechanical and chemical properties of Invisalign TM appliances change after use? A retrieval analysis. *J Orthod.* 2016 Feb;38(1):27-31.
25. Condo' R, Pazzini L, Cerroni L. Mechanical properties of "two generations" of teeth

- aligners: Change analysis during oral permanence. *Dent Mater J.* 2018 Sep 30;37(5):835-42.
26. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Jul;136(1):12.e1-7.