



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**INSTITUTO SUPERIOR EGAS MONIZ**

**BIOMECÂNICA DOS ALINHADORES ORTODÔNTICOS**

Trabalho submetido por  
**Alla Midzyuta**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

**Outubro de 2021**





**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**INSTITUTO SUPERIOR EGAS MONIZ**

**BIOMECÂNICA DOS ALINHADORES ORTODÔNTICOS**

Trabalho submetido por  
**Alla Midzyuta**  
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por  
**Prof. Doutor Pedro Mariano Pereira**

**Outubro de 2021**



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Universitário Egas Moniz por esta experiência única e as portas que se abrem aos médicos estrangeiros apaixonados pela sua profissão e que desejam continuar a evoluir nela, independentemente das fronteiras ou das barreiras culturais.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Pedro Mariano Pereira, por toda a disponibilidade e ajuda que me prestou ao longo da realização deste trabalho, e por todas as críticas construtivas que me sugeriu para que conseguisse atingir o meu objetivo, o meu muito obrigada.

Aos meus pais, Alla e Vadim, por todo apoio que me deram, por terem estado sempre na retaguarda em cada dia e por me terem transmitido os valores necessários para me ter tornado na pessoa que sou.

Ao meu marido, Philippe, por me motivar a ultrapassar todas as adversidades e obstáculos, por nunca me terem deixado desistir

Aos meus filhos, Valeriia e Vadim, por ser uma inspiração para mim, bem como para iluminar o meu caminho.

Aos amigos que a faculdade me deu, com quem partilhei tão bons e inesquecíveis momentos e que com quem aprendi a ser uma pessoa melhor, obrigada por cada minuto que passámos.



## RESUMO

Desde a introdução do posicionador dentário em 1944, aparelhos removíveis análogos aos alinhadores transparentes têm sido empregues para realizar movimentos ortodônticos leves a moderados. A terapia com alinhadores faz parte da prática ortodôntica há décadas, mas principalmente desde a introdução do sistema *Invisalign* em 1998, tornou-se numa opção cada vez mais comum ao arsenal ortodôntico.

Esta revisão bibliográfica tem como objetivo avaliar e descrever os princípios biomecânicos que estão subjacentes aos alinhadores transparentes

Assim, o presente trabalho destacará a crescente popularidade dos aparelhos transparentes de alinhamento, examinará em detalhe os princípios da biomecânica deste tipo de aparelhos, bem como as indicações clínicas e as limitações da terapia com alinhadores em geral.

Os alinhadores transparentes podem fornecer um melhor controlo do movimento dentário em comparação com os aparelhos ortodônticos removíveis tradicionais. Além disso, quando o planeamento do tratamento é bem elaborado, o movimento dentário difícil, incluindo o movimento em corpo, pode ser alcançado. No entanto, até o momento, o nível de qualidade dos estudos publicados não é suficiente para tirar quaisquer conclusões sobre a previsibilidade de tratamentos realizados com alinhadores transparentes.

**Palavras-chave:** Alinhadores, Aparelhos transparentes, Biomecânica, Invisalign.



## **ABSTRACT**

Since the introduction of the dental positioner in 1944, removable appliances analogous to clear aligners have been employed to perform mild to moderate orthodontic movements. Aligner therapy has been part of orthodontic practice for decades, but especially since the introduction of the Invisalign system in 1998, it has become an increasingly common option to the orthodontic arsenal.

This literature review aims to evaluate and describe the biomechanical principles that underlie transparent aligners.

Thus, this paper will highlight the growing popularity of clear aligners, examine in detail the principles of biomechanics of these types of appliances, as well as the clinical indications and limitations of aligner therapy in general.

Transparent aligners can provide better control of dentary movement compared to traditional removable orthodontic appliances. Furthermore, when treatment planning is well designed, difficult tooth movement, including in-body movement, can be achieved.

However, to date, the quality level of published studies is not sufficient to draw any conclusions about the predictability of treatments performed with clear aligners.

**Keywords:** Aligners, Transparent appliances, Biomechanics, Invisalign.



## ÍNDICE GERAL

<b>I. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>II. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Conceitos básicos de biomecânica .....</b>	<b>15</b>
2.1.1. Corpo .....	15
2.1.2. O centro de resistência.....	15
2.1.3. Força .....	16
2.1.3.1. Resultante de forças com um ponto de aplicação comum.....	17
2.1.3.2. Resultantes de forças com diferentes pontos de aplicação .....	18
2.1.3.3. Decomposição das forças .....	18
2.1.4. Momento.....	19
2.1.5. Binário .....	20
2.1.6. Centro de rotação .....	21
<b>2.2. Definição de alinhador transparente .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3. História .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. Tipos de movimentos dentários ortodônticos.....</b>	<b>25</b>
2.4.1. Inclinação descontrolada .....	25
2.4.2. Inclinação controlada.....	27
2.4.3. Translação (movimento em corpo).....	28
2.4.4. Movimento da raiz (torque).....	28
2.4.5. Intrusão / Extrusão .....	29
2.4.6. Movimento de rotação .....	30
<b>2.5. Movimentos dentários realizados pelos alinhadores transparentes.....</b>	<b>30</b>
2.5.1. Inclinação.....	30
2.5.2. Translação.....	30
2.5.3. Movimento da raiz (torque).....	32
2.5.4. Intrusão/ Extrusão .....	34
2.5.5. Movimento de rotação .....	36

2.5.6. Combinação de movimentos .....	37
<b>2.6. Limitações dos alinhadores transparentes .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7. Indicações para alinhadores transparentes.....</b>	<b>41</b>
<b>2.8. Vantagens e desvantagens dos alinhadores transparentes .....</b>	<b>42</b>
2.8.1. Vantagens .....	42
2.8.2. Desvantagens .....	43
<b><i>III. CONCLUSÃO.....</i></b>	<b>45</b>
<b><i>IV. BIBLIOGRAFIA.....</i></b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Centro de resistência do corpo restringido. ....	15
<b>Figura 2</b> - Localização do centro de resistência. em dentes unirradiculares e multirradiculares. ....	16
<b>Figura 3</b> - Componentos do vetor de força. ....	17
<b>Figura 4</b> - A lei do paralelogramo é utilizada para encontrar o vetor resultante de duas forças ortodônticas aplicadas sobre um mesmo ponto (moderado de Vellini,2000). ....	17
<b>Figura 5</b> - O momento é criado quando uma força é aplicada num corpo de dente. ....	20
<b>Figura 6</b> - Exemplos de binário. (A) no plano oclusal e; (B) no plano sagital ( adaptado de Vellini,2000). ....	21
<b>Figura 7</b> - Localização do centro de rotação. ....	22
<b>Figura 8</b> - Movimento descontrolado do dente, em que a coroa do dente se move numa direção, enquanto o ápice da raiz do dente se move na direção oposta. O centro de rotação está no centro de resistência do dente. ....	26
<b>Figura 9</b> - Resorbção de camada cortical de maxila pelo vestibulirização de incisivo central. Adaptado de (El-Bialy et al,2016). ....	27
Figura 10 - Inclinação controlada. ....	27
<b>Figura 11</b> - Movimento de translação. ....	28
Figura 12 - Movimento de raiz onde o ápice da raiz se move enquanto a ponta da coroa não se move. O centro de rotação seria em torno da ponto incisal. ....	29
<b>Figura 13</b> - Intrusão / Extrusão. ....	29
<b>Figura 14</b> - Encerramento de um espaço de extracção com uma unidade multi-dentes (adaptado de Invisalign, Académie,2018). ....	31
<b>Figura 15</b> - Dois attachments de controle de raiz otimizados (adaptado de Invisalign, Académie, 2018). ....	31
<b>Figura 16</b> - Um attachment de controle de raiz otimizado à esquerda e um ponto pressão à direita (adaptado de Invisalign, Académie, 2018). ....	32
<b>Figura 17</b> - Power Ridge ao nível dos quatro incisivos superiores (adaptado de Schupp et al, 2016). ....	33
<b>Figura 18</b> - Sistema de força introduzido pela Align Technology® para produzir movimento de raiz para palatina utilizando um sistema de dupla forçal (adaptado de El-Bialy et al,2016). ....	33

<b>Figura 19</b> - Attachments de extrusão de vários dentes (forças extrusivas são aplicadas aos dentes anteriores (em azul) e forças intrusivas são aplicadas aos dentes posteriores (em branco))(adaptado de Invisalign, Académie, 2018). .....	34
<b>Figura 20</b> - Extrusão de um molar com o attachment de extrusão otimizado (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).....	35
<b>Figura 21</b> - Attachments de sobremordida otimizados (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).....	35
<b>Figura 22</b> - Rampas de oclusão de precisão (adaptado de Invisalign, Académie, 2018). .....	36
<b>Figura 23</b> - Attachment de rotação otimizado (adaptado de Schupp et al, 2016). .....	37
<b>Figura 24</b> - Rotação com extrusão e rotação com intrusão (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).....	37
<b>Figura 25</b> – A : Attachment multiplano otimizado; B: Attachment multiplano otimizado no lado vestibular e um ponto de pressão no lado plano do alinhador ( adaptado de Invisalign, Académie, 2018). .....	38

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Previsibilidade de movimentos dentários utilizando alinhadores transparentes (adaptado de Weir, 2017). .....	39
<b>Tabela 2</b> - Limitações do sistema Invisalign® (modificado de Urzal et al, 2017). .....	40



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CAD CAM = Projeto e Fabricação Assistidos por Computador

3D = 3 Dimensional

CR = Centro de resistência

CRot = Centro de rotação



# I. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

Desde há já alguns anos, os alinhadores transparentes têm-se tornado numa alternativa viável para o tratamento ortodôntico face aos aparelhos convencionais. Isto tornou-se possível graças às suas qualidades estéticas, ao seu conforto, à sua amovibilidade e, em particular, pelo facto de a higiene estar facilitada e pela ausência de constrangimentos alimentares específicos, como consequência de serem removíveis<sup>1,2</sup>. Estes argumentos seduzem tanto os pacientes adultos como os adolescentes. Com efeito, com os progressos tecnológicos e os critérios de seleção alargaram-se, permitindo assim integrar os adolescentes nos pacientes elegíveis.

Atualmente, graças ao desenvolvimento destes dispositivos e a uma maior procura por parte dos pacientes, o número de tratamentos com alinhadores tem aumentado, o que tem estimulado a aposta na inovação com o objetivo de atingir uma eficácia destes aparelhos semelhante à obtida com os tratamentos convencionais com *brackets*, particularmente em casos mais complexos<sup>3</sup>. Alguns destes casos, que por vezes associam necessidades estéticas a necessidades funcionais, são frequentemente tratados com sucesso com as chamadas terapias "híbridas", onde a ação dos alinhadores é associada a ferramentas auxiliares (microimplantes, elásticos, arcos seccionais, expansores palatinos rápidos, etc.)<sup>4,5,6,7,8</sup>.

Apesar do avanço da tecnologia digital, em especial no diagnóstico e na planificação ortodôntica, a previsibilidade do movimento dentário é dependente de princípios biomecânicos das forças aplicadas aos dentes, cujo elemento dentário está alheio aos tipos de dispositivos ortodônticos, mas subordinado à intensidade, à direção, à linha de ação e ao ponto de aplicação da força<sup>9</sup>. Independentemente do dispositivo ortodôntico, a aplicação da força é exercida distante do centro de resistência dos dentes, o que gera momentos, com tendências rotacionais, que podem promover inclinações dentárias controladas ou descontroladas<sup>10,11</sup>. A eficácia e previsibilidade dos alinhadores ortodônticos exige um conhecimento profundo desses princípios biomecânicos e da sua especificidade.

Inicialmente, quando os alinhadores transparentes foram introduzidos, eles eram vocacionados para solucionar apinhamentos ligeiros (1-2 mm de deficiência no comprimento do arco), casos de espaçamento dentário ligeiro (1-2 mm) ou casos de recidiva<sup>12</sup>.

Embora muitos médicos argumentem que casos simples de apinhamento ou espaçamento possam ser facilmente corrigidos através da utilização de aparelhos ortodônticos fixos ou removíveis de rotina, os desafios mencionados acima com aparelhos fixos regulares são a limpeza, a restrição de dieta e erros de posicionamento de *brackets*. Além disso, aparelhos ortodônticos removíveis regulares/tradicionais têm suas próprias limitações, que incluem o volume da base de acrílico, um ponto de contato dos componentes ativos (fios/grampos) com os dentes, o que torna difícil controlar o movimento dentário ou obter a inclinação controlada ou movimento corporal de acordo com os objetivos do tratamento.

## 1.2. Metodologia de pesquisa

Para a realização desta revisão narrativa foi feita uma pesquisa recorrendo aos motores de busca online: *PubMed*, *Scielo*, *Science Direct*, *B-On* e *Google Acadêmico*. A pesquisa teve como limites utilizar as equações booleanas para analisar os artigos em português, inglês e francês, disponíveis em texto completo, no intervalo de tempo entre 1995 e 2020. A pesquisa bibliográfica estendeu-se também os livros relevantes sobre o tema e para isso recorreu-se à biblioteca do Instituto Universitário Egas Moniz.

## 1.3. Objetivo

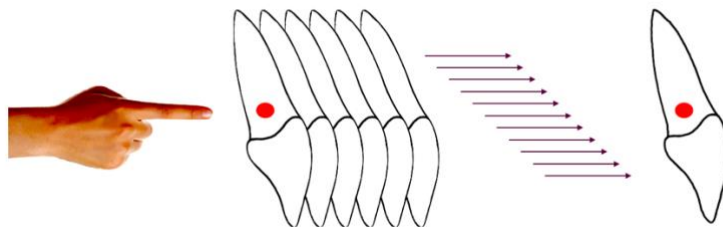
Esta revisão da literatura tem como objetivo aprofundar a biomecânica dos alinhadores transparentes que respondem à necessidade estética durante o tratamento ortodôntico. Maior ênfase será dado nos aspectos de biomecânica dos alinhadores transparentes de sistema *Invisalign* devido à sua crescente procura no mercado por parte dos pacientes e frequência de utilização na prática diária no consultório.

## II. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Conceitos básicos de biomecânica

#### 2.1.1. Corpo

Todo objeto ou corpo livre tem um ponto no qual pode ser perfeitamente equilibrado (pelo menos na teoria). Este ponto é conhecido como centro de massa, é como se o resto do objeto não existisse e todo o seu peso estivesse concentrado neste único ponto. Quando o corpo a ser movido, como por exemplo um dente, não está livre no espaço e sim restringido pelas estruturas de suporte do periodonto, emprega-se um ponto análogo ao centro de massa, denominado de centro de resistência (Fig. 1). Por definição, uma força com linha de ação passando através do centro de resistência produz um movimento de translação.<sup>13</sup>



*Figura 1 - Centro de resistência do corpo restringido.*

#### 2.1.2. O centro de resistência

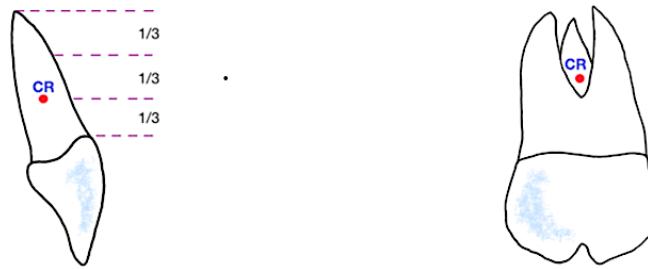
Em ortodontia encontramos frequentemente a utilização imprópria do termo centro de resistência do dente. O dente não resiste ao deslocamento, apenas transmite forças. É o ambiente ósseo e periodontal que resiste. Portanto, seria mais correto chamá-lo de centro de resistência associado ao dente. Convencionalmente, o centro de resistência associado a um dente é definido como sendo o ponto pelo qual é necessário passar a força para que o movimento obtido seja de translação. No entanto, esta definição é incompleta

porque caracteriza o centro de resistência apenas por uma força externa. No entanto, essa caracterização deve apelar para o dente e seu ambiente<sup>13</sup>.

Outra definição diz que este centro de resistência corresponde ao ponto do corpo (dente) onde uma única força produziria uma translação, ou seja, todos os pontos se moveriam em retas, paralelas. O centro de resistência é um ponto fixo para uma determinada situação num momento específico. Sua posição depende dos fatores como a superfície da raiz, a altura do osso alveolar e a natureza do osso alveolar<sup>13</sup>.

Aproximadamente, para um dente com um periodonto intacto, este centro de resistência está localizado:

- Para um dente com uma única raiz localiza-se entre o terço médio e apical da raiz.
- Para um dente com múltiplas raízes localiza-se a 2 mm apicalmente à furca<sup>13</sup> (Fig.2).



*Figura 2 - Localização do centro de resistência. em dentes unirradiculares e multirradiculares.*

### 2.1.3. Força

Pode ser definida como a ação de um corpo sobre o outro, no nosso caso, a ação de um dispositivo mecânico (arame, mola, elástico, etc.) sobre os dentes<sup>13</sup>. A força é classificada como uma grandeza vetorial, sendo a sua representação feita por vetores.

A força definida por um vector que é caracterizado pelas:

- Intensidade (representado pelo tamanho do vector);
- Direção (representado pela linha de ação, sentido e ponto de origem (Fig. 3)).

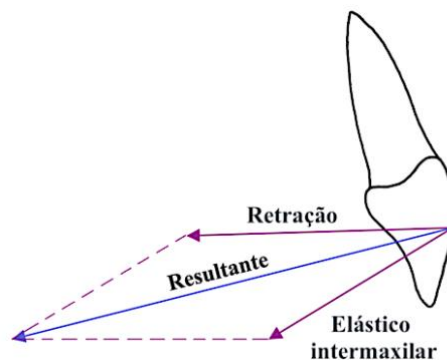


*Figura 3 - Componentes do vetor de força.*

A magnitude da força é determinada pelo produto da massa pela aceleração ( $F = M \cdot a$ ), sendo medidas em unidades como Newton ou a Libra, mas clinicamente são usadas unidades usuais de peso (onças) ou de massa (gramas), pois a aceleração é desprezível no movimento ortodôntico<sup>13</sup>.

#### 2.1.3.1. Resultante de forças com um ponto de aplicação comum

Para determinar a resultante de duas forças, os vetores são considerados como sendo lados de um paralelogramo. Se o paralelogramo está completo, a resultante é a sua diagonal (Fig.4). O seu comprimento indica a magnitude da força resultante na mesma escala das forças originais. É importante entender que a resultante terá um efeito idêntico ao das duas forças agindo separadamente na movimentação do dente. Caso o objetivo seja encontrar a resultante de três ou mais forças, serão construídos paralelogramos sucessivos até à obtenção de um só vetor<sup>14</sup>.



*Figura 4 - A lei do paralelogramo é utilizada para encontrar o vetor resultante de duas forças ortodônticas aplicadas sobre um mesmo ponto (moderado de Vellini,2000).*

### **2.1.3.2. Resultantes de forças com diferentes pontos de aplicação**

O uso do método do paralelogramo para calcular a resultante de forças aplicadas em diferentes pontos fundamenta-se numa das leis básicas da mecânica estática, a lei da transmissibilidade da força. Isto indica que, para forças associadas, o ponto de aplicação pode ser selecionado em qualquer local na linha de ação da força. O princípio da transmissibilidade em corpos rígidos afirma que o efeito da força aplicada sobre um corpo rígido é independente do seu ponto de aplicação, desde que esteja sobre a sua linha de ação (corpo do vetor). Como os dentes são considerados corpos rígidos (não se deformam sobre a ação de força aplicada), podemos empregar este princípio para a maioria das análises vetoriais ortodônticas, deslocando o vetor sobre a sua linha de ação<sup>14</sup>.

### **2.1.3.3. Decomposição das forças**

Ao invés de combinar duas ou mais forças numa única resultante, geralmente o que tem maior utilização é a decomposição de uma força em dois componentes dispostos em ângulos retos um em relação ao outro. O objetivo é determinar quanta força está a ser liberada perpendicular e paralelamente a planos de referência como aos planos oclusal, de Frankfurt ou ao longo eixo do dente<sup>15</sup>.

Quando mais de uma força atua sobre um dente, há dois métodos para determinar as componentes vertical e horizontal totais. Inicialmente, as forças aplicadas podem ser associadas a uma única resultante e, depois, esta resultante pode ser decomposta nos componentes horizontal e vertical. Uma outra alternativa seria determinar os componentes horizontal e vertical de cada força separadamente, e posteriormente estas componentes são associadas para determinar os vetores finais na horizontal e na vertical. A direção da força deve ser tida em consideração. Se uma força tem um componente vertical intrusiva e uma segunda força tem um componente vertical extrusiva, uma direção deve ser selecionada como negativa e a outra como positiva, só assim a adição resultará num valor final correto<sup>14</sup>.

#### 2.1.4. Momento

O conceito de momento de uma força foi introduzido pela primeira vez em 1988 para definir diferentes tipos de movimento dentário e mudanças de centro de rotação de acordo com mudanças da relação momento-força<sup>13</sup>. Para movimentar um dente em corpo, a força deve ser aplicada ao centro de resistência desse corpo<sup>14</sup>. No caso dos dentes, o centro de resistência está localizado algures na(s) raiz(es), pelo que não é viável aplicar forças nas raízes dos dentes<sup>16</sup>. Quando uma força é aplicada à coroa do dente, cria-se um momento (tendência para o dente girar em torno do centro de resistência), pois o ponto de aplicação da força está longe do centro de resistência. O momento produzido é a resultante da multiplicação da magnitude da força pela distância perpendicular da linha de ação (não o ponto de aplicação) da força ao centro de resistência<sup>16</sup>.

Para movimentar um dente em corpo sem aplicar forças no centro de resistência do dente que está localizado diretamente na raiz do dente, é importante controlar o momento criado quando força é aplicada nas coroas dos dentes. Para isso, é necessário um momento contrário para anular o momento inicial. A relação entre o momento aplicado e a força é chamada de relação momento-força<sup>13</sup> e esta proporção determina o movimento dentário resultante (inclinação não controlada, inclinação controlada, movimento corporal ou radicular [torque]). Em suma, se assumirmos que a força irá mover a ponta da coroa do dente numa direção, o momento contrário deverá mover o ápice da raiz na mesma direção ou, pelo menos, impedir o ápice de se mover na direção oposta ao da coroa do dente que se está movendo<sup>13</sup>.

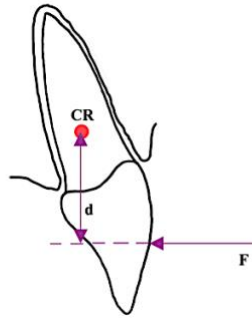
A quantificação do momento de uma força (M) exercido sobre um dente é igual ao produto da força (F) pela distância que separa o centro de resistência à linha de ação da força:<sup>13</sup>

$$M = F \times d,$$

onde: M - Momento

F - Magnitude da força aplicada

d - Distância perpendicular entre a linha de ação da força e o CR



*Figura 5 - O momento é criado quando uma força é aplicada num corpo de dente.*

Um dente pode estar sujeito à ação de uma ou mais forças. Múltiplas forças combinam-se de tal forma que atuam como uma única força, chamada de resultante das forças. Quando uma força (ou resultante) é aplicada a um dente, podem surgir duas possibilidades:

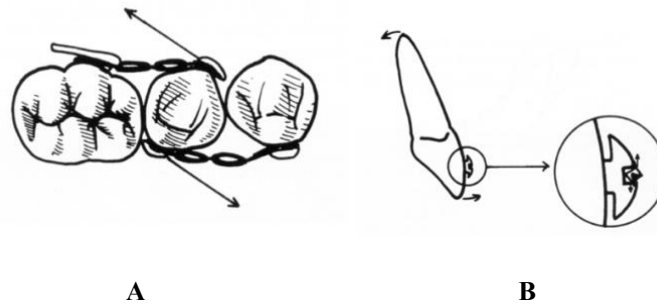
- A extensão da força passa pelo centro de resistência, neste caso, o momento é zero e o dente move-se num único movimento na direção da força (movimento translacional)
- A extensão da força não passa pelo centro de resistência. Nessas condições, o valor do momento é diferente de zero. O movimento não é único, mas duplo, o dente move-se girando sobre si<sup>14</sup>.

A unidade para a grandeza Momento é g-mm (grama – milímetro) e sua representação gráfica é feita por uma seta curva que, em diagramas bidimensionais, pode ser desenhada no sentido horário ou no sentido anti-horário.

#### **2.1.5. Binário**

Tendências de rotação também podem ser obtidas quando se aplica sobre um corpo um binário. Um binário é gerado por duas forças paralelas (não coincidentes), de igual magnitude e sentido oposto. Este é o único sistema de forças capaz de produzir a rotação pura de um corpo, entendendo-a como a rotação do corpo em torno de seu centro de resistência. Evidencia-se duas das maneiras de se produzir binário com aparelhos ortodônticos. No caso A (Fig. 6) o binário dá-se no plano oclusal, através do uso de dois

elásticos um tracionando a face vestibular de um pré-molar para distal e o outro tracionando a face lingual para mesial. O movimento resultante será uma rotação em torno do centro de resistência do dente. No exemplo B (Fig. 6), vemos o binário no plano sagital realizado por um arco retangular de um aparelho fixo no interior do sulco de um *bracket*<sup>13</sup>.



**Figura 6** - Exemplos de binário. (A) no plano oclusal e; (B) no plano sagital ( adaptado de Vellini,2000).

#### 2.1.6. Centro de rotação

Se o desenho de um dente é fixado a um pedaço de papel por um pino, o ponto no qual o pino está inserido não se move, e este ponto torna-se o centro de rotação sobre o qual o dente pode girar. Se o pino é fixado no bordo incisal o movimento limita-se ao deslocamento da raiz e se for transferido para o ápice radicular o movimento limita-se à inclinação da coroa. Em cada caso, o centro de rotação é determinado pela posição do pino. Assim, em figuras bidimensionais, o centro de rotação pode ser definido como um ponto ao redor do qual um corpo parece ter rodado, determinado a partir das suas posições iniciais e finais. Traçando linhas correspondentes ao longo eixo do dente na posição original e na posição após a movimentação, as linhas cruzam-se num ponto. Este ponto é denominado fulcro e representa o centro de rotação do movimento dental<sup>17</sup> (Fig. 7).

O centro de rotação pode situar-se em qualquer ponto dentro ou fora do dente. Quanto mais próximo o movimento for de o de translação, mais distante do dente estará localizado o centro de rotação. Em casos extremos, como o de translação pura, considera-se que o centro de rotação está localizado no infinito<sup>17</sup>.

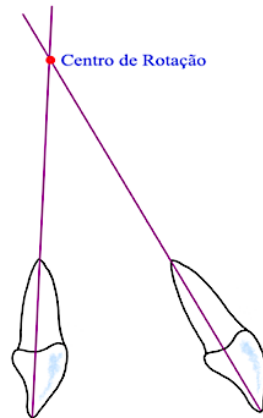


Figura 7 - Localização do centro de rotação.

## 2.2. Definição de alinhador transparente

Um alinhador transparente é um meio minimamente visível para movimentar os dentes sem arames e *brackets*. É um aparelho removível e confortável feito de material termoplástico médico, que é inerte e biocompatível. Diferentes materiais termoplásticos, ou as suas combinações, são utilizados para termoformar alinhadores transparentes, incluindo policloreto de vinilo, poliuretano, politereftalato de polietileno e politereftalato de polietileno glicol<sup>18,19,20</sup>.

## 2.3. História

Em 1925, Orrin Remensnyder desenvolveu um dispositivo de massagem dentária, com o objetivo de fazer exercício e estimular a gengiva no tratamento da periodontite<sup>21</sup>. Era um dispositivo feito de borracha macia, que cobrindo as coroas clínicas e a gengiva marginal, e foi comercializado como o aparelho de massagem de goma "*Flex-O-Tite*". Nos anos seguintes, foram relatadas observações de movimentos dentários menores ocorridos com a utilização deste aparelho<sup>22</sup>.

Os conceitos fundamentais da terapia moderna com alinhadores transparentes podem ser rastreados até Herald Dean Kesling em 1945. O desejo deste tipo de tratamento foi impulsionado pela visão de Kesling de um aparelho simples que guiaria o movimento de

todos os dentes para as suas posições ideais em relação uns aos outros, sem as interferências de quaisquer bandas ou arames tradicionais. Isto levou à concepção de um aparelho conhecido como o “*Tooth Positioning Appliance*”<sup>23</sup>. É um aparelho ortodôntico ativo utilizado para o posicionamento artístico final dos dentes, bem como para servir como uma contenção eficaz. Como aparelho de acabamento, o posicionador tirou partido do facto de que a maioria dos dentes ainda são instáveis e móveis logo após o final do tratamento ativo. O aparelho posicionador é originalmente fabricado a partir de um material de borracha maleável em uma só peça (monobloco), a partir de um *set-up*. Foi concebido para preencher completamente o espaço livre, assim como para cobrir as superfícies vestibulares e linguais da dentição maxilar e mandibular. O aparelho foi concebido para a correção de discrepâncias dentárias leves, tais como espaçamentos, sobremordidas residuais e pequenas alterações do posicionamento dentário mesiodistal ou vestibulolingual. Contudo, o âmbito de possíveis movimentos dentários era limitado.

O primeiro aparelho termoplástico transparente documentado para uso em medicina dentária foi desenvolvido por Henry Isaac Nahoum<sup>24</sup> em 1959, fabricado através de um aparelho de vácuo industrial<sup>25</sup>. Era conhecido como o aparelho de contorno dentário, uma vez que foi originalmente concebido para manter ou alterar os contornos<sup>26</sup>. O processo podia acomodar vários materiais, incluindo acetatos, vinil, estireno, polietileno e butirato, com folhas translúcidas, transparentes ou coloridas<sup>27</sup>. Para a sua fabricação, realiza-se um molde alterado utilizando uma serra de joalheiro para seccionar os dentes e a cera da placa de base para os manter na sua nova posição. A partir daqui o aparelho de contorno é formado sobre o modelo. A resiliência do material do aparelho exercerá pressão até que os dentes tenham atingido as suas posições pré-determinadas. Nahoum<sup>24</sup> postulou que este aparelho poderia ser utilizado em ortodontia, tanto como contenção, como para conseguir pequenos movimentos dentários ortodônticos, tais como pequenas rotações e encerramento de espaços. Baseou-se assim na ideia de Kesling de utilizar uma série de aparelhos de forma incremental para alcançar progressivamente um movimento dentário desejado. Este conceito foi desenvolvido com a percepção de que alguns movimentos dentários eram demasiado grandes para serem corrigidos num só passo. Assim, eram necessários ajustes progressivos aos dentes no molde alterado, movendo-os gradualmente através da cera, sendo fabricado um novo aparelho a vácuo para cada passo. Este método foi recomendado para uso predominantemente em dentes anteriores. Os elementos auxiliares utilizados na atual terapia com alinhadores, também tiveram origem na

metodologia de Nahoum. Por exemplo, quando ambos os arcos são tratados, foi sugerido a utilização de botões acrílicos no aparelho para a fixação de elásticos intermaxilares.

Em 1971, Robert John Ponitz<sup>27</sup> propôs um aparelho de plástico transparente moldado a vácuo que podia ser utilizado para acabamento e retenção de casos ortodônticos. O material proposto para estes aparelhos tinha na sua composição butirato de acetato de celulose, poliuretano, polímero de polivinilacetato e polietileno, policarbonato e látex. O procedimento de fabrico envolveu o pré-aquecimento do material plástico transparente num forno e a utilização de uma unidade de vácuo para moldar o material à forma da arcada dentária, a partir de um modelo. Ponitz<sup>27</sup> propôs que os dentes pudessem ser movidos e reposicionados no modelo utilizando cera antes do fabrico do aparelho, permitindo assim que os dentes do paciente pudessem ser movidos para novas posições através do aparelho. Além disso, permitia a colocação de planos de mordida em acrílico por cima ou por baixo do aparelho, que eram fixados com líquido acrílico autopolimerizável. Em casos envolvendo regiões desdentadas, os dentes de prótese podiam também ser fixados ao aparelho pelo mesmo método.

A técnica de Ponitz para fabricar aparelhos invisíveis para contenção e detalhes finais foi posteriormente refinada por James A. McNamara<sup>28</sup>, em 1985. Este relatou o fabrico destes aparelhos utilizando polímeros *BiocrylTM* de 1 mm de espessura, com uma máquina formadora Biostar. Em vez da técnica de pressão de vácuo descrita por Ponitz, a máquina Biostar utilizava uma pressão de ar positiva para adaptar o *BiocrylTM* termoplástico à superfície do modelo. Este aparelho foi reportado para ser utilizado em 80% dos seus casos de consultórios privada<sup>29</sup>. McNamara<sup>28</sup> acabou por concluir que, embora as contenções removíveis transparentes tivessem as suas vantagens, não tinham a mesma durabilidade a longo prazo em relação às contenções acrílicas tradicionais ou coladas.

Em 1993, John J. Sheridan<sup>30</sup> apresentou a sua variação da família dos aparelhos termoplásticos, conhecida como a contenção Essix, concebido para funcionar tanto como contenção como posicionador. Foi fabricado utilizando uma folha de copoliéster termoplástico de 0,030". Sheridan defendeu a utilização de um método de pressão de ar positiva para o processo de termoformagem, que reduziria a espessura da folha para 0,015" após a sua conclusão. Em contraste com a ideia de Nahoum de utilizar aparelhos em série para movimentos sucessivos, o princípio fundamental do sistema Essix baseava-

se na utilização de um único aparelho em que eram realizados ajustes no curso do tratamento. Os dois métodos primários de criação do movimento dentário no sistema Essix são através de alterações no alinhador ou na superfície do dente. O primeiro método envolve a formação dos alinhadores através de termo-transformadores Hilliard. O segundo método, conhecido como "*moulding*", envolve alterações de forma a criar projeções na superfície do dente, de tal maneira que uma força será exercida consoante a resiliência do material do alinhador pressiona contra ele. Isto é conseguido normalmente através da colagem de materiais compósitos, na forma de uma saliência.

Embora o conceito de utilização de alinhadores em Ortodontia existisse já há muitas décadas, os processos de planeamento e fabrico eram feitos manualmente, através de procedimentos demorados e laboriosos, tais como a montagem sequencial em cera<sup>31</sup>. A maior limitação destes processos de fabrico manual é que os alinhadores estão limitados apenas a um pequeno subconjunto, não podendo assim ser utilizados para tratamentos ortodônticos abrangentes. Os recentes avanços na conceção, fabrico assistido por computador (CAD/CAM) e técnicas de prototipagem rápida, permitiram uma abordagem industrial ao planeamento e fabrico de alinhadores termoplásticos<sup>32</sup>.

## **2.4. Tipos de movimentos dentários ortodônticos**

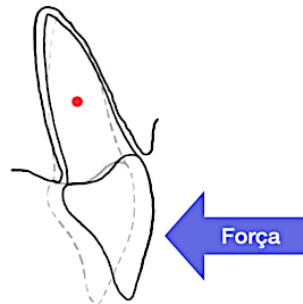
Existem os seguintes tipos de movimentos dentários ortodônticos comuns :

- inclinação descontrolada
- inclinação controlada
- translação ou movimento corporal
- movimento da raiz ou torque
- intrusão/extrusão
- movimento dentário rotacional<sup>12</sup>.

### **2.4.1. Inclinação descontrolada**

Ocorre quando a coroa do dente se move numa direção, enquanto o ápice da raiz do mesmo dente se move na direção oposta (Fig. 8). Normalmente, este tipo de movimento

dentário é produzido por aparelhos removíveis ou mesmo aparelhos fixos, quando são utilizados arcos redondos<sup>12</sup>.



**Figura 8** - Movimento descontrolado do dente, em que a coroa do dente se move numa direção, enquanto o ápice da raiz do dente se move na direção oposta. O centro de rotação está no centro de resistência do dente.

O principal problema com este tipo de movimento dentário ocorre quando a coroa se move ( $> 1$  mm) para lingual, à medida que o ápice da raiz do dente envolvido se desloca contra as paredes corticais do osso alveolar ou mesmo para fora dele, o que pode resultar em reabsorção radicular grave e/ou defeitos ósseos periodontais<sup>33,34,35</sup>. Um exemplo desses problemas pode ser observado na Fig. 9.

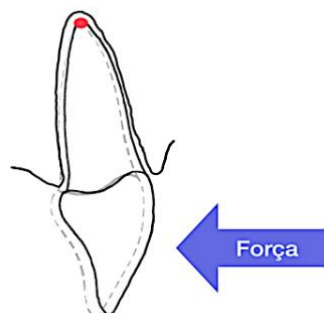
Como exemplos clínicos, podem-se citar as diversas molas de aparelhos removíveis, os aparelhos expansores, assim como os aparelhos fixos com arcos redondos quando realizam movimentos vestibulolinguais.



**Figura 9** - Resorção de camada cortical de maxila pelo vestibulirização de incisivo central. Adaptado de (El-Bialy et al,2016).

#### 2.4.2. Inclinação controlada

Ocorre quando a ponta da coroa de um dente se move numa direção, enquanto o ápice da raiz desse dente permanece na posição original (Fig.10). Chama-se controlada porque o efeito indesejado do movimento do ápice do dente não ocorre ou a sua ocorrência é menos provável. Normalmente, este tipo de movimento dentário requer a aplicação de um momento externo para contrariar o momento criado pela força inicial destinada a mover o dente<sup>12</sup>.



**Figura 10** - Inclinação controlada.

Esse é o tipo de movimento é frequentemente indicado quando os dentes anteriores superiores estão severamente inclinados (Classe II, div. 1). A inclinação controlada em

torno dos ápices traria de volta as inclinações axiais normais. Na ortodontia moderna, este movimento é produzido por um fio de secção retangular<sup>14</sup>.

### 2.4.3. Translação (movimento em corpo)

Neste tipo de movimento dentário o centro de resistência estaria no infinito, partindo do princípio de que a coroa e a raiz se movem à mesma distância, quase sem rotação (Fig. 11)<sup>12</sup>.

A translação propriamente dita é o movimento horizontal ou oblíquo que preserva a inclinação do longo eixo do dente, e é um dos movimentos ortodônticos mais complexos. Sua obtenção é possível sempre que a linha da ação da força cruza o centro de resistência ou quando a tendência de rotação decorrente de uma força distante do centro de resistência é totalmente anulada por um binário.

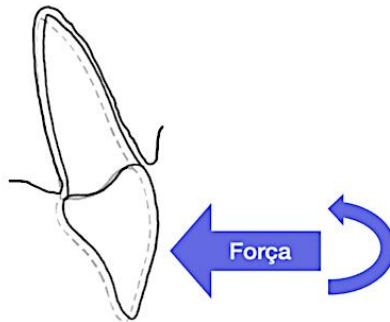
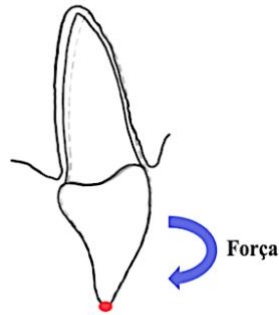


Figura 11 - Movimento de translação.

Na realização deste tipo de movimento a grupo de dentes, utilizando por exemplo *brackets*, de canino a canino, eles estão conectados por um arco rígido (0,018 “x 0,025” ou mais forte)<sup>14</sup>.

### 2.4.4. Movimento da raiz (torque)

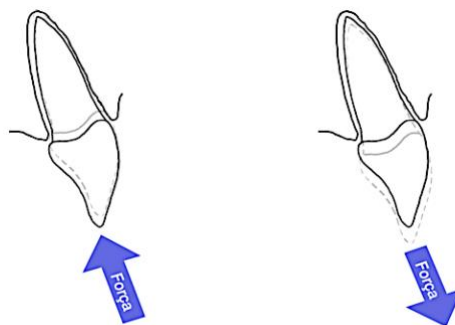
Neste tipo de movimento dentário, a raiz do dente move-se numa direção enquanto a coroa mantém-se na mesma posição (Fig.12). O centro de rotação localiza-se à volta da ponta da coroa do dente (bordo incisal, por exemplo)<sup>36</sup>.



*Figura 12 - Movimento de raiz onde o ápice da raiz se move enquanto a ponta da coroa não se move. O centro de rotação seria em torno da ponta incisal.*

#### 2.4.5. Intrusão / Extrusão

Esse é o movimento dentário que ocorre na direção axial e cujo centro de rotação está localizado no infinito (Fig.13). É um tipo axial de translação. Dos movimentos verticais, a intrusão é a de mais fácil obtenção, pois produz poucas áreas de compressão do ligamento periodontal. Assim, há pouco risco de hialinização, e o organismo necessita apenas depositar tecido ósseo para preservar a implantação dental. Clinicamente é muito difícil obter somente a extrusão, sem uma ligeira rotação ou inclinação. Na intrusão comprime-se grande parte dos ligamentos periodontais, assim como o feixe vâsculo-nervoso que irriga a polpa. A reabsorção óssea ocorre em torno do ápice. Destes factos deduz-se que a intrusão deve ser lenta e com forças de baixa intensidade, para que não provoque danos teciduais.



*Figura 13 - Intrusão / Extrusão.*

#### 2.4.6. Movimento de rotação

A rotação pura ocorre quando o dente gira em torno de seu centro de resistência. Num sentido de primeira ordem, a rotação pura ocorre quando o centro de rotação localiza-se sobre o longo eixo do dente. Portanto, a rotação pura, ou seja, a inclinação do dente ao redor do seu centro de residência, não pode ser conseguida com uma única força. O único sistema de forças que pode produzir rotação pura do dente é conhecido como *binário*, já descrito anteriormente.

### 2.5. Movimentos dentários realizados pelos alinhadores transparentes

#### 2.5.1. Inclinação

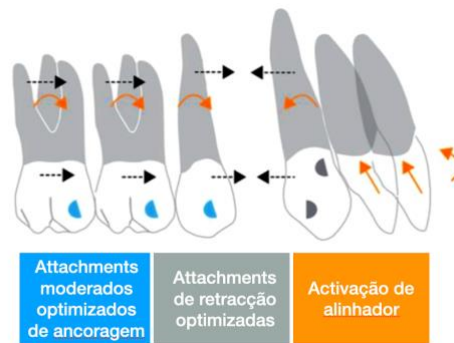
Movimentar os dentes para vestibular ou para lingual ao utilizar alinhadores transparentes não é um desafio, desde que haja um espaço livre ou uma folga interoclusal clara que permita que os dentes posteriores se movam vestibulo-lingualmente. Para conseguir este movimento vestibulolingual, deve-se considerar a sobreposição vertical destes dentes. Por outras palavras, se o dente destinado a ser movimentado para lingual ou para vestibular estiver sobreposto para além do plano oclusal, como nos casos de mordida cruzada, será mais difícil movimentar tal dente, uma vez que exigirá ter mais espaço livre inter-oclusal, o que por vezes não é possível ou não é confortável para os pacientes. Uma opção para ultrapassar esta questão é intruir inicialmente um dente sobrerupcionado e depois movê-lo vestibulo-lingualmente, o que complicaria ou tornaria o movimento do dente muito demorado<sup>12</sup>.

#### 2.5.2. Translação

Os alinhadores transparentes oferecem uma gama de *attachments* para o encerramento de espaços por unidades multi-dentes, entre eles destacam-se:

- *Attachments* de retração otimizados para movimentos translacionais eficientes durante a retração canina, com ou sem elásticos.
- *Attachments* de ancoragem otimizados para proporcionar uma ancoragem posterior moderada (2-5 mm de movimento mesial de coroas posteriores podem ser

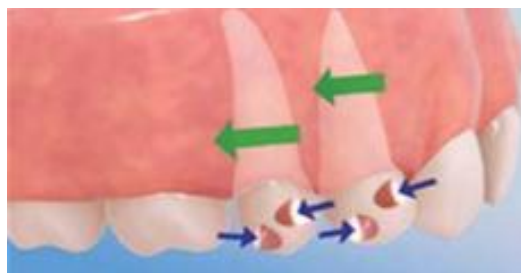
programados no plano de tratamento) (Fig.14).



**Figura 14** - Encerramento de um espaço de extração com uma unidade multi-dentes (adaptado de Invisalign, Académie,2018).

Quando um movimento de translação mesiodistal da raiz de um canino é necessário, a opção geralmente preferida é exercer duas forças opostas. Uma primeira força mesial, bem como uma segunda força distal, ambas localizadas ao nível da coroa, a fim de criar um momento no nível da raiz. *Attachments* de controlo de raiz otimizados são capazes de produzir este sistema de força:

- Uma força na mais gengival na direção do deslocamento da raiz;
- Uma força mais oclusal para criar um momento contrário, mas de intensidade menor (Fig. 15)<sup>36</sup>.



**Figura 15** - Dois attachments de controle de raiz otimizados (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

Assim, quando a superfície vestibular do dente tem tamanho suficiente, dois *attachments* de controlo de raiz otimizados serão posicionados por norma. Quando a superfície vestibular do dente é insuficiente para colocar duas fixações, um único

*attachment* de controlo de raiz otimizado é colocado no lado vestibular do dente e um ponto de pressão adicional é colocado no lado vestibular do alinhador para criar o sistema de forças apropriada (Fig. 16)<sup>36</sup>.



**Figura 16** - Um *attachment* de controlo de raiz otimizado à esquerda e um ponto pressão à direita (adaptado de *Invisalign, Académie, 2018*).

De modo geral, os *attachments* radiculares otimizados são projetados individualmente de forma diferente para cada morfologia dentária e para cada paciente, para controlo radicular na direção mesio-distal. As aplicações clínicas incluem encerramento e abertura de espaços, bem como movimentos de translação<sup>37</sup>.

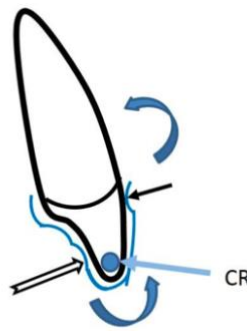
### 2.5.3. Movimento da raiz (torque)

Um exemplo de um meio de dar torque utilizando alinhadores transparentes são os *Power Ridge* (Fig. 17). Os *Power Ridge* juntamente com os pontos de pressão foram desenvolvidos para manter ou melhorar a inclinação axial dos incisivos durante a sua retração. Assume-se que os *Power Ridge* aplicariam uma força lingual ou palatina na parte cervical da coroa do dente que, quando resistida pelo plástico que cobre o bordo incisal do mesmo dente cria uma dupla força. Presume-se que esta dupla força produz torque lingual da raiz. Embora isto seja explicitamente demonstrado, não há dados de investigação disponíveis na literatura que sustentem esta suposição. A tecnologia de alinhamento introduziu pelos *Power Ridge* e o ponto de pressão a fim de produzir uma dupla força que pode produzir movimento de raiz na direção vestibulo-lingual. Um esboço esquemático deste sistema é mostrado em Fig.18, onde a seta do lado palatino mostra o ponto de pressão próximo da borda incisal, enquanto a crista de potência na

superfície labial próxima da margem gengival produz uma dupla força capaz de produzir o momento necessário para mover a raiz para palatina<sup>37</sup>.



**Figura 17** - Power Ridge ao nível dos quatro incisivos superiores (adaptado de Schupp et al, 2016).



**Figura 18** - Sistema de força introduzido pela Align Technology® para produzir movimento de raiz para palatina utilizando um sistema de dupla força (adaptado de El-Bialy et al, 2016).

Um segundo método de produção de torque é restringir a posição da coroa quando se tenta mover a coroa numa direção oposta à direção do movimento da raiz. Um exemplo é o que normalmente acontece devido ao crescimento ou adaptação tardia da mandíbula para a frente, o que leva ao apinhamento dos incisivos inferiores ou recidiva após tratamento ortodôntico. Por outras palavras, se restringirmos os incisivos inferiores por um arco fixo ou alinhador transparente e tentarmos mover os incisivos superiores lingualmente enquanto houver uma sobremordida adequada, o movimento lingual dos incisivos superiores torceria as raízes dos incisivos inferiores na direção vestibular<sup>12</sup>.

Uma terceira possibilidade de dar torque as raízes com alinhadores transparentes é mover as coroas inicialmente na direção oposta à direção pretendida do torque de raiz. Por exemplo, se precisarmos de retrainir as raízes dos incisivos superiores para palatino, moveríamos o coroa labialmente primeiro e depois movimentava-se todo o dente para palatino. Isto é semelhante à forma tradicional de lidar com casos de Classe II divisão 2,

em que é sempre recomendado proclinar primeiro os incisivos superiores de forma labial (fornecendo o torque adequado) e depois mover os incisivos superiores para palatino.

#### 2.5.4. Intrusão/ Extrusão

Embora a intrusão pura seja exequível, muitas vezes está associada a uma intrusão relativa. Por exemplo, quando da tentativa de nivelamento da curva de Spee, uma ligeira intrusão de incisivos inferiores com proclinação e extrusão de pré-molares é atingida quando se procura esse objetivo. A proclinação dos incisivos é o tipo de movimento dentário mais fácil que pode ser alcançado através de alinhadores transparentes. Por outro lado, a extrusão, embora pareça fácil de ser conseguida com alinhadores é necessário proporcionar espaço nos alinhadores para a erupção espontânea do dente pretendido ou utilizar configurações especiais de acessórios/alinhadores, sendo por norma muito difícil de conseguir. A extrusão de dentes pequenos como os incisivos laterais superiores ou os incisivos inferiores é de certa forma desafiadora pela difícil retenção obtida pelos plásticos dos alinhadores, o que torna o movimento ortodôntico planeado difícil de conseguir. Os acessórios propostos pela tecnologia de alinhamento que podem produzir extrusão são os acessórios biselados<sup>38,39</sup>. A superfície ativa é a superfície biselada gengivalmente, onde os plásticos dos alinhadores aplicam as forças necessárias nos dentes a serem extrudidos (Fig. 19). Normalmente, a intrusão não requer acessórios nos dentes a serem intrudidos, contudo os dentes de ancoragem (pré-molares inferiores, por exemplo em casos de intrusão de incisivos inferiores) necessitam de ser equipados com acessórios retangulares horizontais para ancoragem, o que resulta também numa relativa extrusão destes pré-molares.



**Figura 19** - Attachments de extrusão de vários dentes (forças extrusivas são aplicadas aos dentes anteriores (em azul) e forças intrusivas são aplicadas aos dentes posteriores (em branco))(adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

O *attachment* de extrusão otimizada (Fig.20) oferece uma extrusão igual ou superior a 0,5 mm, com risco de rotação inferior a 5°<sup>40</sup>.



**Figura 20** - Extrusão de um molar com o *attachment* de extrusão otimizado (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

No processo de intrusão de um dente, o contato próximo do bordo incisal ou da superfície oclusal é uma área de pressão capaz de efetuar um movimento intrusivo<sup>41</sup>.

No caso de trespasse vertical aumentado, o movimento cria uma interferência oclusal transmitida aos dentes adjacentes, o que faz com que o alinhador se levante, o que pode ser problemático. Nestes casos são posicionadas *attachments* de sobremordida otimizados nos pré-molares para criar ancoragem suficiente (Fig.21)<sup>38</sup>.



**Figura 21** - *Attachments* de sobremordida otimizados (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

Nas superfícies palatinas dos incisivos superiores, rampas de oclusão de precisão podem ser adicionadas se a desoclusão dos dentes posteriores for desejada (Fig.22)<sup>41</sup>.

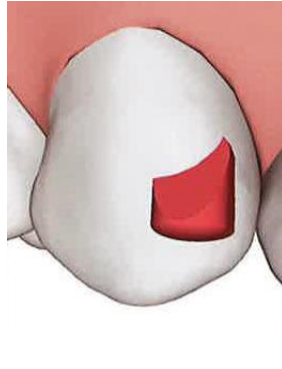


**Figura 22** - Rampas de oclusão de precisão (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

### 2.5.5. Movimento de rotação

Foi relatado que a rotação é um movimento dentário muito desafiador com alinhadores. No entanto, a tecnologia *AlignTechnologies*®, em sua descrição dos *attachments* otimizados para a rotação, mostrou que esses têm formas diferentes, dependendo da direção da força necessária para girar o dente envolvido<sup>41</sup>.

O uso de *attachments* retangulares para girar dentes de formato esférico, como caninos e pré-molares, deu resultados previsíveis. De facto, nos casos em que uma redução da rotação maior que 20° é necessária, é imperativo colocar um acessório retangular longo na direção ocluso-gengival. No entanto, quando o dente é curto é muito difícil para o clínico colar o *attachment* próximo ao tecido gengival livre<sup>40</sup>. Além disso, mesmo que o consiga colocar, a saúde gengival pode ficar comprometida. A introdução de *attachments* de rotação otimizados permitiu maior controlo desse movimento (Fig.23). Os *softwares* de alguns sistemas posicionam automaticamente a superfície ativa na superfície vestibular do dente, o mais longe possível do eixo principal<sup>42</sup>.



**Figura 23** - Attachment de rotação otimizado (adaptado de Schupp et al, 2016).

A última geração de *attachments* oferece mais funcionalidades para os movimentos dos molares, com *attachments* multiplano otimizados, que suportam movimentos rotacionais combinados com intrusão ou extrusão. (Fig. 24). O movimento pode ser igual ou superior a de 0,5 mm de extrusão ou intrusão e igual ou superior a 5 graus de rotação alinhado com o eixo longitudinal do dente em qualquer direção<sup>39</sup>.



**Figura 24** - Rotação com extrusão e rotação com intrusão (adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

### 2.5.6. Combinação de movimentos

Os *attachments* multiplano otimizados foram desenvolvidos por duas razões principais. Em primeiro lugar, para melhorar o controlo de sistemas de força complexos. Em segundo lugar, servem também para prevenir movimentos indesejáveis. De facto, um sistema de forças não pode ser reduzido à geração de simples movimentos num único plano<sup>42</sup>.

O seguinte exemplo da movimentação de dois incisivos laterais superiores ajudará a ilustrar os diferentes conceitos acima mencionados (Fig. 25). Neste exemplo, o incisivo lateral deve ser submetido a forças simultâneas de extrusão, rotação e versão. A superfície ativa é orientada para produzir a força extrusiva. De forma a completar o sistema de força, um ponto de pressão palatino no alinhador é acrescentado ao dispositivo anterior<sup>36</sup>.



**Figura 25** – A : Attachment multiplano otimizado; B: Attachment multiplano otimizado no lado vestibular e um ponto de pressão no lado plano do alinhador ( adaptado de Invisalign, Académie, 2018).

## 2.6. Limitações dos alinhadores transparentes

Os clínicos que planeiam tratamentos ortodônticos com os alinhadores transparentes deparam-se com pouca evidência científica, tendo de recorrer principalmente a formas fracas de evidência como opiniões de especialistas, estudos científicos mal elaborados de baixo nível ou à em sua própria experiência clínica. Existem poucas pesquisas publicadas que se foquem na previsibilidade do movimento dentário ortodôntico com alinhadores<sup>43</sup>.

Como regra geral, os alinhadores alinham e nivelam as arcadas. A intrusão dos dentes anteriores e o controlo da inclinação vestibulo-lingual posterior são relativamente previsíveis. No entanto, a extrusão dos dentes anteriores, as rotações dos dentes arredondados e a melhoria da inclinação vestibulo-lingual anterior são mais problemáticas<sup>44</sup>.

Relativamente à previsibilidade de pequenas quantidades de correção da inclinação vestibulo-lingual dos dentes anteriores ao utilizar aparelhos de tipo *Invisalign*®, um

estudo relatou um alto grau de precisão, embora esse trabalho revele falhas significativas na seleção da amostra e na metodologia<sup>43</sup>.

A Tabela 1 foi construída usando uma síntese de dados relatados por duas das maiores empresas de manufatura de alinhadores, a *Align Technology*® e a *ClearCorrect*®. A *Align Technology*® é a fabricante dos aparelhos *Invisalign*®, e que maior número de pacientes tratou até o momento, mais de 3 milhões. A *ClearCorrect*® é responsável pelo tratamento de mais de 80.000 casos ortodônticos<sup>45</sup>.

**Tabela 1** - Previsibilidade de movimentos dentários utilizando alinhadores transparentes (adaptado de Weir, 2017).

MOVIMENTO DE DENTES	PREVISIBILIDADE COM ALINHADORES SOZINHOS		
	Previsível	Moderado	Difícil
Apinhamento ou espaçamento por arco	Até 6 mm	6-8mm	> 8mm
Discrepância de linha média	Até 2mm	2-3mm	> 3mm
Rotação do incisivo central	Até 40 °	40-50 °	>50°
Rotação do incisivo lateral	Até 30 °	30-40 °	>40°
Canino e pré-molar rotação	Até 45 °	45-55 °	>55°
Rotação molar	Até 20°	20-30 °	>30 °
Extrusão anterior por arco	Até2,5mm	2,5-3mm.	>3mm
Intrusão anterior por arco	Até0,5mm	0,5-1 mm	>1mm
Intrusão posterior por arco	Até0,5mm	0,5-1 mm.	>1mm
Extrusão posterior por arco	0mm	0,5 mm	>0,5 mm
Expansão por quadrante	Até2mm	2-3mm	> 3mm
Correção ântero-posterior	Até2mm	2-4mm	> 4mm
Torque da raiz lingual do incisivo	0-10°	10-15 °	>15°
Torque da raiz lingual do dente posterior	0-5 °	5-10 °	>10°
Dente posterior distal movimento (maxila)	0-2mm	2-4mm	> 4mm
Dente posterior mesial movimento	0-1mm	1-2mm	> 2mm

O sistema *Invisalign*® apresenta várias limitações conforme é apresentado na tabela 2, das quais destacamos:

- 1) A cooperação do paciente para o sucesso durante o tratamento é imperativa.

Este fator é importante para os tratamentos com alinhadores. O paciente deve utilizar os alinhadores de acordo com as recomendações para que o tratamento tenha sucesso. Caso o paciente não esteja motivado ou não aceite o modo de utilização exigido, é importante o profissional propor outra terapeutica<sup>46</sup>.

2) Dificuldades em movimentos extensos e complexos.

Apesar de muitos estudos terem sido desenvolvidos com o objetivo de se produzirem alinhadores cada vez mais versáteis e com diversas aplicações, alguns movimentos ainda não estão bem descritos na literatura especializada e os protocolos carecem de verificação<sup>46</sup>.

**Tabela 2** - Limitações do sistema Invisalign® (modificado de Urzal et al, 2017).

Limitações
1. A cooperação do paciente é imperativa para o sucesso do tratamento.
2. É necessário a erupção dentária estar completa.
3. Rotações severas, extrusões complexas e grandes translações dentárias podem requerer tratamentos auxiliares.
4. Não corrigem recidivas excessivas dos tratamentos ortodônticos.
5. Grandes trespasses horizontais e discrepâncias ântero-posteriores.
6. Dificuldade em mastigar, porque os dentes ficam sensíveis à pressão ou pelo impactamento alimentar nos espaços temporários.
7. Nas coroas clínicas pequenas.
8. Efeitos insignificantes nos contactos oclusais posteriores.
9. Incapacidade para efetuar intrusões ou extrusões precisas.
10. Pode ser necessário aparelhos fixos ou uma série adicional de alinhadores para atingir os objetivos do tratamento.
11. Devido a só mostrar a posição das coroas no programa de computador, a inclinação das raízes pode não ser a ideal.
12. Incapacidade de integrar tecidos moles e duros da cabeça no programa informático e as suas relações.
13. O tempo de tratamento deve ser curto para evitar pequenas intrusões posteriores, devidas às forças excessivas na oclusão posterior e/ou pela espessura do alinhador. No entanto, este pequeno espaço inter-oclusal entre o primeiro e segundo molar geralmente desaparece um ano após a contenção. Contudo, se este problema só for atribuído à espessura do alinhador, poderá cortar-se os alinhadores a distal dos pré-molares, e passado duas a quatro semanas o assentamento dos molares ocorrerá.

14. Se a evolução for demasiado rápida, pode acontecer que as alinhadores não encaixem perfeitamente.
15. No encerramento de espaços se a inclinação dentária exceder 10° a 15° durante este movimento.
16. Dificuldade para corrigir o torque posterior.
17. Não corrige contactos oclusais.
18. Maior recidiva nos dentes maxilares anteriores em comparação com os aparelhos fixos.

### 2.7. Indicações para alinhadores transparentes

O sistema *Invisalign*®, ainda que nos dias de hoje seja capaz de corrigir vários tipos de más oclusões, algumas delas são mais indicadas para sua utilização. Entre elas destaca-se:

- más oclusões dentárias leves;
- encerramento de diastemas e apinhamentos até 5mm;
- arcadas atroficas que podem ser expandidos sem grande inclinação dentária;
- trespasse vertical aumentado (Classe II, divisão 2), em que a má oclusão pode ser resolvida através da intrusão ou torque dos incisivos superiores;
- distalização molar;
- intrusão de um ou dois dentes;
- casos de apinhamento severo em que é extraído o incisivo inferior;
- mordidas cruzadas;
- mordidas profundas;
- vestibuloverssão dos incisivos<sup>47,48,49,50</sup>.

Os pacientes bruxómanos, que apresentam desgaste nos dentes provenientes deste hábito parafuncional, são bons candidatos à utilização de alinhadores transparentes, uma vez que, para além da ortodontia, podem beneficiar de uma melhoria do desconforto muscular e favorecerem a preservação do esmalte<sup>48</sup>.

## 2.8. Vantagens e desvantagens dos alinhadores transparentes

### 2.8.1. Vantagens

A estética é uma das principais vantagens oferecidas pelos sistemas de alinhadores pelo facto de serem transparentes e praticamente imperceptíveis. Por este motivo é uma opção válida para pacientes adultos, que muitas vezes não aceitam os aparelhos convencionais. Para além disto, o conforto inerente à utilização dos alinhadores transparentes é uma das vantagens mais importantes<sup>48</sup>.

Por ser removível, este aparelho não impõe restrições alimentares, permitindo ingerir todo o tipo de alimentos e bebidas, ao mesmo tempo que facilita a higiene oral, ao contrário dos aparelhos que são compostos por *multi-brackets*.

Alguns autores acreditam que existe uma menor reabsorção radicular associada a tratamentos com alinhadores transparentes. Segundo um estudo realizado por Krieger *et al.*<sup>51</sup>, que avaliou a reabsorção radicular após o tratamento com alinhadores transparentes, conclui-se que nos 100 pacientes avaliados, no mínimo, dois dentes por paciente apresentavam reabsorção radicular e que, em média, foram afetados 7,36 dentes por paciente. Apenas 6,31% dos 1600 dentes analisados apresentavam uma reabsorção radicular superior a 20%, quando comparada com o tamanho total da raiz no início do tratamento.

O sistema responsável pela elaboração e previsibilidade do tratamento permite ao paciente a visualização do resultado final e, deste modo, motivá-lo para a utilização correta dos alinhadores. Este *software* possibilita a avaliação dos planos de tratamento com detalhe e a escolha do mais adequado<sup>48</sup>.

Por norma, na utilização dos alinhadores transparentes aplica-se às forças mais leves e consequentemente menos dolorosas quando comparado com um aparelho fixo, uma vez que a colocação de um novo alinhador é de sete em sete dias, enquanto a aplicação de novas forças num aparelho convencional ronda as 4 às 6 semanas<sup>52</sup>.

Para avaliar as propriedades citotóxicas e estrogénicas dos alinhadores *Invisalign*® foi realizada uma investigação durante a qual foram colocados três conjuntos de alinhadores (maxilar e mandibular) em soluções salinas durante dois meses, a 37°. Posteriormente, foram colocados eluentes com três concentrações diferentes (5%, 10% e 20% vol/vol). Concluiu-se que os alinhadores não apresentavam atividade citotóxica ou estrogénica. Enquanto que nos aparelhos metálicos poderia existir corrosão e libertação

de elementos tóxicos perigosos para as mucosas. Segundo estes estudos os alinhadores transparentes não apresentam nenhum risco de toxicidade<sup>52,53</sup>.

Para além das vantagens referidas anteriormente, foram ainda relatadas:

- a diminuição do tempo de cadeira do paciente;
- a diminuição das consultas de urgência, uma vez que só acontecem no caso de fratura ou perda do alinhador;
- tecidos periodontais mais saudáveis;
- menor risco de desmineralização do esmalte e a eliminação de problemas relacionados com adesão tão característica da aparatologia com *brackets*<sup>49,54</sup>.

### 2.8.2. Desvantagens

A cooperação do paciente é um fator fundamental para o sucesso do tratamento com alinhadores. Só serão atingidos os objetivos estipulados se forem utilizados todos os alinhadores de forma correta e assídua. Por isso, acaba por existir um défice no controlo do tratamento por parte do clínico<sup>47,48,55</sup>.

No processo da utilização de aparelho transparente, o grande risco é a perda do dispositivo. Isto torna-se uma desvantagem quando comparados com os aparelhos fixos, uma vez que estão na cavidade oral em todas as horas do dia sem poderem ser removidos<sup>48</sup>.

Quando o tratamento é iniciado e o primeiro alinhador é colocado na cavidade oral do paciente, já todos os seguintes foram fabricados de acordo com o plano de tratamento estabelecido. Sendo assim, o Médico Dentista não tem a possibilidade de intervir durante uma consulta para realizar alguma modificação que acredite ser favorável. Para isso terão de ser realizadas novas impressões de silicone ou digitais com repetição de todo o processo inicial<sup>47</sup>.

A correção intermaxilar é limitada, ou seja, as discrepâncias esqueléticas severas dificilmente podem ser resolvidas utilizando com alinhadores transparentes. No caso da correção de uma Classe II esquelética, podem ser utilizados os elásticos intermaxilares, mas, conseqüentemente, podem comprometer a retenção no alinhador<sup>47,55</sup>.

A dificuldade na pronúncia de sons também pode ser a desvantagem durante os primeiros dias, uma vez que se encontra aumentado o fluxo salivar pelo facto de ser removível, não existindo uma adaptação imediata<sup>48,52</sup>.

Também é uma realidade que economicamente são mais dispendiosos quando comparados com outras técnicas visto que todo o *software* e elaboração do planeamento tem despesas associadas, assim como todo o material<sup>48,52</sup>.

Por último, e como referido anteriormente, existem alguns movimentos pouco previsíveis, é o caso do controlo de torque e a rotação de alguns dentes que pode ser considerada como uma dificuldade do sistema *Invisalign®*, devido à forma arredondada dos pré-molares que dificulta aplicação do movimento de rotação<sup>52,55</sup>.

### III. CONCLUSÃO

Existe uma vasta gama de situações das quais um clínico pode escolher se a utilização de alinhadores transparentes é a opção de tratamento ajustada. As diferenças entre estes aparelhos e os aparelhos convencionais são profundas, o que torna a escolha entre eles numa decisão crítica determinada pela gravidade da má oclusão presente, pela capacidade do médico para a diagnosticar e estabelecer um plano de tratamento que possa influenciar o resultado final, pela rapidez e utilidade do tratamento clínico, e pela estética e conforto do aparelho.

Para movimentar dentes, os ortodontistas utilizavam, inicialmente, aparelhos removíveis e, posteriormente, fixos para controlar e minimizar os movimentos dentários indesejáveis no espaço tridimensional. A utilização de sistema dos alinhadores transparentes requer conhecimentos consideráveis de ortodontia e biologia, de forma a estabelecer um diagnóstico sólido, assim como uma compreensão da biomecânica dos aparelhos, para assegurar a movimentação satisfatória dos dentes no osso maxilar e mandibular. O sistema *Invisalign*®, no qual os alinhadores têm contacto íntimo com quase toda a superfície da coroa do dente, tenta reunir as melhores qualidades de aparelhos removíveis e fixos.

As principais características dos alinhadores transparentes em geral foram destacadas para permitir aos clínicos fazer uma avaliação inicial de qualquer sistema para potencial utilidade clínica.

A maioria dos estudos existentes dos alinhadores transparentes tem problemas metodológicos. Entre eles destaca-se:

- pequena dimensão da amostra;
- enviesamento e as variáveis confusas;
- falta de análise de erros do método;
- falta de rigor nas medições;
- métodos estatísticos deficientes ou em falta.

Até o momento, o nível de qualidade dos estudos publicados não é suficiente para tirar quaisquer conclusões sobre a previsibilidade de tratamentos realizados com alinhadores transparentes.

#### IV. BIBLIOGRAFIA

1. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, Chaushu S.
2. *Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: A comparison between Labial, Lingual, and Invisalign™.* Eur. J. Orthod. 2012;34: 724–730.
3. Maspero C, Cavagnetto D, Abate A, Cressoni P, Farronato M. *Effects on the Facial Growth of Rapid Palatal Expansion in Growing Patients Affected by Juvenile Idiopathic Arthritis with Monolateral Involvement of the Temporomandibular Joints: A Case-Control Study on Posteroanterior and Lateral Cephalograms.* J. Clin. Med. 2020; 9: 11-59
4. Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C. *Design of the Invisalign system performance.* Seminars in Orthodontics 2017;23(1): 3-11.
5. Lombardo L, Colonna A, Carlucci A, Oliverio T, Siciliani G. *Class II subdivision correction with clear aligners using intermaxillary elastics.* Prog. Orthod. 2018; 19-32.
6. Liu Y, Hu W. *Force changes associated with different intrusion strategies for deep-bite correction by clear aligners.* Angle Orthod. 2018;88: 771–778.
7. Caruso S, Nota A, Ehsani S, Maddalone E, Ojima K, Tecco S. *Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: A retrospective study.* BMC Oral Health. 2019;19: 182.
8. Kankam H, Madari S, Sawh-Martinez R, Bruckman K.C, Steinbacher DM. *Comparing Outcomes in Orthognathic Surgery Using Clear Aligners Versus Conventional Fixed Appliances.* J. Craniofac. Surg. 2019;30: 1488–1491
9. Kook M.S, Kim H.M, Oh HK, Lee KM. *Clear Aligner Use Following Surgery-First Mandibular Prognathism Correction.* J. Craniofac. Surg. 2019;30: e544–e547

9. Vieira GM. *Alinhadores invisíveis: indicações, limitações biomecânicas e a problemática da mensuração das forças aplicadas*. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial 2013;12(1):40-50
10. Brezniak N. *The clear plastic appliance: a biomechanical point of view*. Angle Orthodontist 2008;78: 381– 382.
11. Yoshikawa DK. *Biomechanical principles of tooth movement*. Dental Clinics of North America 1981;25: 19–26.
12. El-Bialy T, Galante D, Daher S. *Orthodontic Biomechanics: Treatment Of Complex Cases Using Clear Aligner.Recent Advances in Dentistry*. Volume 1. Bentham Science Publishers; 2016
13. Marcotte MR. *Mecânica em Ortodontia*. In: Biomecânica em Ortodontia. 2<sup>a</sup> ed. Livraria Santos 2002. p.1-21.
14. Burstone CJ. *Application of bioengineering to clinical orthodontics*. In: *Current orthodontic and techniques*, 2 ed., Philadelphia, Saunders Company 1975, p.230- 258 .
15. Vellini F. *Biomecânica do Movimento Dental (parte II)* In: Diagnóstico e Planejamento Ortodôntico. 4<sup>a</sup> ed, p.366-378, 2000.
16. Smith RJ, Burstone CJ. *Mecânica do movimento dentário*. Revista ortodontia (artigo traduzido), v.29, n.2, p.72-84
17. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. *Holografic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces*. Am. J. Orthodontic., 77, p.396-409, 1980.
18. Ercoli F, Tepedino M, Parziale, V, Luzi C. *A comparative study of two different clear aligner systems*. Prog. Orthod. 2014, 15, 31.
19. Pithon MM. *A modified thermoplastic retainer*. Prog. Orthod. 2012, 13, 195–199.

20. Maspero C, Farronato M, Bellincioni F, Annibale A, Machetti J, Abate A, Cavagnetto D. *Three-Dimensional Evaluation of Maxillary Sinus Changes in Growing Subjects: A Retrospective Cross-Sectional Study*. Materials 2020, 13, 2007.
21. Orrin R. *Dental massage device: Google Patents*; 1928 nov 13.
22. Remensnyder O. *A gum-massaging appliance in the treatment of pyorrhea*. Dent Cosmos 1926;28:381-84.
23. Kesling HD. *The philosophy of the tooth positioning appliance*. Am J Orthod 1945; 31: 297-304.
24. Nahoum HI. *The vacuum formed dental contour appliance*. NY State Dent J 1964;9:385-90.
25. Lawrence BR. *Vacuum molding machine: Google Patents*; 1957 nov 26.
26. Nahoum HI. *Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2014;146(5):545-6.
27. Ponitz RJ. *Invisible retainers*. American Journal of Orthodontics;59(3):266-72.
28. McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. *Invisible retainers*. J Clin Orthod 1985;19(8):570-8.
29. McNamara JA, Brudon WL, Kokich VG. *Orthodontics and dentofacial orthopedics*. Ann Arbor, Mich.: Needham Press; 2001.
30. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. *Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention*. J Clin Orthod 1993;27(1):37-45.
31. Barone S, Paoli A, Razionale AV, Savignano R. *Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners*. Int J Numer Method Biomed Eng 2016.

32. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. *A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2013;29(2):e1-10.
33. Mulie RM, Hoeve AT. *The limitations of tooth movement within the symphysis, studied with laminagraphy and standardized occlusal films.* J Clin Orthod. 1976; 12: pp. (10)882-93-6-9.
34. Ten Hoeve A, Mulie RM. *The effect of antero-postero incisor repositioning on the palatal cortex as studied with laminagraphy.* J Clin Orthod 1976; 10(11): 804-822, 886-889.
35. Dahr S. *Dr Sam Daher's Techniques for Class II Correction with Invisalign and Elastics Clinical tips and techniques by Align technology.* 2011.
36. Schupp, W., et J. Haubrich. *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment.* London: Quintessence Publishing Co. Ltd, 2016.
37. Turatti G, Womack R, Bracco P. *Incisor intrusion with Invisalign treatment of an adult periodontal patient.* J Clin Orthod 2006; 40(3): 171-4
38. Align technology: attachment protocol summary online [acesso em 22/04/2021]. Available at: [www.aligntechinstitute.com/.../Documents/pdf/attachment\\_protocol.pdf](http://www.aligntechinstitute.com/.../Documents/pdf/attachment_protocol.pdf).
39. Align Technology. «Encombrement». *Invisalign online academy* [acesso em 22/04/2021]. Disponível em : <https://learn.invisalign.com/crowding>.
40. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, et Agran B. *How well does invisalign work ? : a prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with invisalign.* American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics 135, no 1 (2009): 27-35.

41. Lagravère MO, Flores-Mir C. *The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review*. J Am Dent Assoc 2005; 136(12): 1724-9.
42. Simon, M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, et Bourauel C. *Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners : incisor torque, premolar derotation, and molar distalization*. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics 145, no 6 (2014): 728-36
43. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. *Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces*. Angle Orthod 2014;84:391–396.
44. Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, Debernardi C. *Upper-Incisor Root Control with Invisalign Appliances*. JCO XLVII June 2013;346–351
45. Weir T. *Clear aligners in orthodontic treatment*. Australian Dental Journal, 2017;62: S1 58– 62.
46. Kim TW, Echarri P. *Clear aligner: an efficient, esthetic, and comfortable option for an adult patient*. World J Orthod. 2007 Spring;8(1):13-8.
47. Joffe L. *Features section: Current products and practice invisalign ??: Early experiences*. Journal of Orthodontics, 2003;30(4), 348–352.
48. Neves CPT, Ferreira EA, Coutinho IL, Coutinho TL, Miranda SCC. *Sistema Invisalign: Uma alternativa ortodôntica estética*. Pós Em Revista, 2009;314–321.
49. Malik OH, McMullin A, Waring DT. *Invisible Orthodontics Part 1: Invisalign*. Dental Update, 2013;40(3): 203–215.
50. Phan X, Ling PH. *Clinical Limitations of Invisalign*. Journal of the Canadian Dental Association, 2007;73(3): 263–266.

51. Krieger E, Drechsler T, Schmidtmann I, Jacobs C, Haag S, Wehrbein H. *Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography*. Elsevier, 2013;1–8.
52. Patel D, Mehta F, Mehta N. *Aesthetic Orthodontics : An Overview*. Orthodontic Journal of Nepal, 2014; (2), 38.
53. Eliades T, Pratsinis H, Athanasiou AE, Eliades G, Kletsas D. *Cytotoxicity and estrogenicity of Invisalign appliances*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009;136(1): 100–103.
54. Thukral R, Gupta A. *Invisalign: Invisible Orthodontic Treatment-a Review*. Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research, 2015;3(5): 42–44.
55. Pereira D, Fernandes M, Gaudêncio F, Retto P, Delgado A. *Ortodontia Plástica: conceito e diferentes sistemas*. OJ Dentistry, 2014;10: 20-22