FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SETE LAGOAS (FACSETE)

BRUNO DAL-MOLIN SACCOL

ALINHADORES IN-HOUSE - FLUXO DE TRABALHO DE ALINHADORES FABRICADOS EM CONSULTÓRIO - REVISÃO DE LITERATURA

LAJEADO
2024

BRUNO DAL-MOLIN SACCOL

ALINHADORES IN-HOUSE - FLUXO DE TRABALHO DE ALINHADORES FABRICADOS EM CONSULTÓRIO - REVISÃO DE LITERATURA

Monografia apresentada ao curso de Especialização da Faculdade de Tecnologia de Sete Lagoas (FACSETE) / Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais (FUNDEF), como requisito parcial para conclusão do Curso de Ortodontia e Ortopedia Facial

Orientador: Prof. Me. Jeverson Calvi

LAJEADO
2024

Dal-Molin Saccol, Bruno

Título: Alinhadores in-house - Fluxo de trabalho de alinhadores fabricados em consultorio - revisão de literatura/Bruno Dal-Molin Saccol - 2024

Orientador: Jeverson Calvi

Monografia (Especialização) - Faculdade de Tecnologia de Sete Lagoas (FACSETE)/ Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais (FUNDEF), para conclusão do Curso de Ortodontia e Ortopedia Facial, 2024

1. Ortodontia 2. Alinhadores transparentes in-house 3. Alinhadores transparentes.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SETE LAGOAS (FACSETE)

Fundação para Reabilitação das Deformidades Crânio-Faciais (FUNDEF)

Monografia intitulada: Alinhadores in-house - fluxo de trabalho de alinhadores fabricados em consultório - Revisão de literatura" de autoria do aluno Bruno Dal-Molin Saccol, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Me. Ricardo Damo Meneguzzi - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF - Orientador

Prof. Dr. Henrique Telles Ramos de Oliveira - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF

Prof. Me. Rodrigo Matos - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF

Lajeado, _____ de 2024.

RESUMO

Essa revisão aborda a centralização da produção de alinhadores transparentes em consultórios odontológicos, explorando os avanços tecnológicos e as práticas necessárias para essa implementação. A crescente demanda estética dos pacientes tem impulsionado o desenvolvimento da terapia com alinhadores transparentes, tradicionalmente fornecida por serviços externos. No entanto, a terceirização apresenta desvantagens, como o longo tempo de produção e entrega, além dos altos custos de serviço, que reduzem os potenciais lucros. Com os avanços recentes em tecnologia de impressão 3D, scanners intraorais e software de configuração 3D, é possível produzir alinhadores transparentes internamente nos consultórios odontológicos. Este trabalho detalha como esses avanços podem ser integrados à prática ortodôntica, proporcionando maior controle sobre o fluxo de trabalho, aceleração na produção dos alinhadores, aumento da lucratividade e melhoria na satisfação do paciente.O estudo aborda as etapas necessárias para a implementação da produção interna. A revisão conclui que a produção interna de alinhadores transparentes é uma opção viável para consultórios odontológicos, através das acessibilidade a tecnologias de escaneamento e impressão 3D oferecendo uma alternativa eficiente e econômica à terceirização, alinhada com as demandas estéticas e funcionais dos pacientes.

Palavras-chave: Ortodontia; alinhadores caseiros; alinhadores transparentes em consultorio

ABSTRACT

This thesis examines the centralization of clear aligner production within dental offices, exploring the technological advancements and practices necessary for successful implementation. The increasing aesthetic demands of patients have driven the development of clear aligner therapy, which has traditionally been provided by external services. However, outsourcing presents drawbacks, such as extended production and delivery times and substantial service fees, reducing potential profits. Recent advancements in 3D printing technology, intraoral scanners, and 3D setup software now enable in-house production of clear aligners in dental practices. This study details how these advancements can be integrated into orthodontic practice, offering greater workflow control, faster aligner production, increased profitability, and enhanced patient satisfaction. The research outlines the necessary steps for implementing in-house production, including the acquisition of extraoral and intraoral patient data, required hardware and software, and the aligner production process. The study concludes that in-house production of clear aligners is a viable and advantageous option for modern dental practices, providing an efficient and cost-effective alternative to outsourcing that meets both the aesthetic and functional demands of patients.

Keywords: Orthodontic; clear aligners; clear aligners in-house; clear aligners in-office

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **8**

2 PROPOSIÇÃO **10**

2.1 Objetivo 10

2.2 Objetivos específicos 10

3 REVISÃO DE LITERATURA **11**

3.1 Aquisição de dados 11

3.1.1 Criação do modelo digital 11

3.1.2 Raio X 3D - Raio de feixe conico 13

3.2 Planejamento digital 13

3.2.1 Segmentação automática 15

3.2.2 Simulação em tempo real 16

3.2.3 Estagiamento avançado e sequencial 16

3.2.4 *Attachments* *16*

3.2.5 Modelos prontos para imprimir 17

3.2.6 Fechamentos de espaço e dentes faltantes 17

3.2.7 Linha de recorte do alinhador 18

3.3 Impressão 3D 18

3.3.1 Impressão por modelagem e deposição fundida (FDM) 19

3.3.2 Impressão 3D por estereolitografia 20

3.3.3 Modelos de resina 20

3.3.3.1 Resina de alta resistencia translucida (LT) 21

3.3.3.2 Tera Hartz TC-85 21

3.4 Etapa pós-impressão 22

3.5 Alinhadores Termoformados 23

3.6 Plastificadoras 24

3.6.1 Corte e polimento dos alinhadores 24

4 MATERIAL E MÉTODO **27**

5 DISCUSSÃO **28**

6 CONCLUSÃO **37**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **38**

1 INTRODUÇÃO

Por várias décadas, aparelhos fixos têm sido uma escolha habitual para intervenções ortodônticas. No entanto, a crescente ênfase na estética no tratamento ortodôntico provocou inovações na forma de "clear aligners", marcando uma mudança significativa nas preferências de tratamento. A evolução dos alinhadores transparentes ressalta a crescente importância da satisfação do paciente e das considerações estéticas no campo da ortodontia (Malik;Mcmullin;Waring, 2013).

Os alinhadores transparentes, que são uma sequência de dispositivos plásticos removíveis, são comumente utilizados em ortodontia para reposicionar dentes. Originalmente os alinhadores foram desenvolvidos por Kelsing em 1946, quando desenvolveu um aparelho de borracha flexível baseado em um modelo de dentes em cera em um laboratório. Essa abordagem revolucionária permitiu a correção de pequenos desalinhamentos dentários, preservando o alinhamento geral dos dentes dentro da arcada dentária. Inicialmente chamado de posicionador, esse método marcou um avanço significativo no tratamento ortodôntico. No entanto, as restrições tecnológicas daquela época limitaram a extensão do movimento dentário possível com posicionadores, resultando principalmente na inclinação da coroa como o único resultado viável (Metha;Metha, 2014).

No início da década de 1990, Sheridan introduziu o método de utilização de alinhadores transparentes junto com a redução dentária interproximal (IPR). Essa técnica inovadora exigia uma nova configuração para cada ajuste dentário, levando à necessidade de obter uma nova impressão durante cada consulta para produzir um novo alinhador. Consequentemente, esse procedimento era demorado e exigia uma carga de trabalho substancial no laboratório. Um desenvolvimento fundamental ocorreu em 1999, quando a tecnologia Align trouxe ao mercado o “Sistema Invisalign”, que se destacou como o dispositivo ortodôntico pioneiro que aproveita o design auxiliado por computador (CAD) e a fabricação auxiliada por computador (CAM). Isso marcou uma mudança significativa, pois várias configurações dentárias agora podiam ser geradas no computador usando apenas uma impressão, levando a uma redução perceptível no tempo clínico e laboratorial.

Posteriormente, foram introduzidos vários outros sistemas de alinhadores que adotaram princípios semelhantes para alcançar os resultados desejados. A evolução da tecnologia de alinhadores revolucionou o campo da ortodontia ao simplificar os processos e aumentar a eficiência. A integração do CAD e do CAM provou ser um

divisor de águas no planejamento e execução do tratamento ortodôntico. A capacidade de projetar e fabricar alinhadores digitalmente não apenas acelerou os processos de tratamento, mas também melhorou a precisão e a exatidão na movimentação dos dentes. Esse avanço tecnológico beneficiou significativamente tanto os ortodônticos quanto os pacientes, tornando o tratamento ortodôntico mais acessível e conveniente (Hennessy;Al-awadi, 2016).

Inúmeras investigações foram conduzidas para avaliar a eficácia dos alinhadores transparentes; no entanto, uma parte significativa dos estudos publicados se baseou fortemente em pontos de vista de especialistas, relatos de casos e séries de casos. Em contraste, o número limitado de estudos clínicos disponíveis concentrou-se principalmente na importante entidade manufatureira, a Invisalign(Haoulli et al, 2019)

Apesar da alta demanda, os alinhadores continuam sendo uma opção de tratamento controlada por terceiros bastante cara e complexa, principalmente devido à participação necessária de fabricantes ou laboratórios de alinhadores no processo de produção, resultando em custos adicionais e prolongando a entrega dos alinhadores. O objetivo desse estudo é trazer mais informações aos profissionais da odontologia a utilização de tecnologias de escaneamento e impressão tridimensional (3D) como uma alternativa in-house mais econômica e autossuficiente aos métodos tradicionais de fabricação de alinhadores. Essa mudança para a impressão 3D in-house não só ajuda a reduzir custos, mas também fornece maior controle sobre o processo de produção, permitindo que os dentistas simplifiquem o processo de tratamento de seus pacientes.

2 PROPOSIÇÃO

2.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi descrever o fluxo de trabalho dos alinhadores confeccionados em consultório.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever os passos na fabricação dos alinhadores no consultório;
- Classificar e elucidar sobre os equipamentos e suas características no fluxo de trabalho

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aquisição de dados

3.1.1 Criação de modelo digital

O tratamento convencional com alinhadores é centrado em um fluxo de trabalho que envolve a utilização de modelos de trabalho digitais maxilares e mandibulares e o registro da oclusão do paciente. Esse processo pode ser realizado diretamente no paciente usando um scanner intraoral ou digitalizando impressões analógicas e/ou modelos de gesso com um scanner de mesa ou uma tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT). Os scanners 3D extra orais oferecem um método alternativo para obter modelos digitais capturando imagens 3D de impressões e moldes físicos. Um scanner óptico (OS) é um tipo de técnica de digitalização extra-oral que emprega luz branca para projetar um padrão no modelo dentário de gesso, que é então capturado usando uma câmera de alta resolução para gerar uma imagem 3D do modelo (Emara et al, 2020). Os laboratórios dentários geralmente favorecem os digitalizadores ópticos devido ao tempo reduzido necessário para a construção do escaneamento, tornando-os a escolha preferida (Beuer;Schweiger;Edelho, 2008).

Medições digitais do tamanho do dente, largura da arcada e discrepância de Bolton em modelos digitais adquiridos a partir da digitalização de modelos dentários de gesso e impressões dentárias revelaram excelente precisão e confiabilidade, conforme indicado pelos resultados da pesquisa. A comparação entre medições diretas em modelos de gesso usando um paquímetro e medições digitais em modelos digitais a partir de métodos de escaneamento, como escaneamento de modelo dentário de gesso e escaneamento de moldagem dentária, não revelou nenhuma variação estatisticamente significativa. Observou-se que os modelos digitais poderiam servir como um substituto viável para os modelos de gesso, oferecendo níveis clinicamente aceitáveis de precisão e confiabilidade na avaliação do tamanho do dente, largura da arcada e análise de Bolton. Esses resultados destacam o potencial da tecnologia digital para revolucionar a prática odontológica, fornecendo alternativas eficientes e precisas aos modelos tradicionais de gesso (Gül;Karsli;Kurt, 2019).

O scanner intraoral (IOS) serve como uma alternativa viável ao scanner óptico (OS) tradicional quando se trata dos processos de digitalização envolvidos na

criação de modelos dentários de gesso.. No mercado atual, existe uma infinidade de scanners intraorais, cada um distinto em termos das tecnologias que utilizam, apresentando assim uma gama variada de limitações, vantagens e custos associados. As tecnologias subjacentes de digitalização 3D dependem de princípios físicos díspares, que por sua vez as categorizam em classes distintas para maior elucidação e exploração(Trebuoa, 2019)

As tecnologias de digitalização 3D dependem de vários princípios físicos e são categorizadas nas seguintes classes:

1- A tecnologia de digitalização 3D de triangulação a laser opera empregando uma linha de laser ou um ponto laser singular com a finalidade de escanear um objeto;

2- A tecnologia de escaneamento 3D com luz estruturada, por outro lado, utiliza triangulação trigonométrica em seu processo de digitalização;

3- A tecnologia de digitalização 3D de fotogrametria, também conhecida como fotografia, reconstrói representações tridimensionais a partir de imagens bidimensionais;

4- A tecnologia de digitalização 3D baseada em contato é baseada no método de coleta de dados tridimensionais por meio do contato direto com o objeto e utiliza uma sonda de contato (Amornvit;Sanohkan, 2020).

Os progressos tecnológicos nos sistemas de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT) facilitou a digitalização de modelos dentários tradicionais de gesso, uma prática que antes era desafiadora. Vários fabricantes de máquinas CBCT iniciaram a incorporação de ferramentas adicionais para digitalizar moldes dentários físicos em seus sistemas. Essa integração visa agilizar o processo de coleta de dados e extração de superfície, aumentando assim a eficiência geral do fluxo de trabalho (Baumgaertel, 2009)

As varreduras de CBCT são obtidas por meio da utilização de uma técnica tridimensional de escaneamento de volume, em oposição a uma técnica de escaneamento de superfície bidimensional que utiliza uma fonte de laser ou LED. Consequentemente, os exames de CBCT permanecem inalterados pelas variações no ângulo de irradiação ou na morfologia do sujeito nas proximidades da região inferior em contato proximal. Além disso, a aplicabilidade do CBCT se estende a cenários envolvendo aglomeração dentária, onde a necessidade de manipular os dados digitalizados não processados é evitada (Park, 2019).

3.1.2 Raio X 3D - Raio de feixe cônico

As principais soluções de planejamento para alinhadores geralmente se concentram apenas na posição da coroa do dente, negligenciando os detalhes intrincados do formato da raiz. É essencial reconhecer que uma compreensão abrangente da arquitetura completa do dente, abrangendo a anatomia da coroa e da raiz, tem um potencial significativo para aumentar a eficácia dos processos de planejamento do tratamento. Ao incorporar informações detalhadas sobre as estruturas da coroa e da raiz, os profissionais da odontologia podem obter maior precisão em suas estratégias de tratamento, levando a resultados mais confiáveis e previsíveis nas intervenções ortodônticas.

O arquivo Dicom passa pelo processo de importação para um software de configuração 3D especializado. Aqui, o ortodontista realiza meticulosamente a tarefa de segmentação, uma etapa crucial que visa alcançar uma reconstrução 3D abrangente da intrincada morfologia radicular presente na estrutura dentária. Posteriormente, o profissional une meticulosamente as malhas em 3D com o modelo STL IOS, garantindo uma integração perfeita desses componentes. Após essa etapa, o ortodontista pode então fazer ajustes precisos na posição do dente virtual em relação às raízes segmentadas, estabelecendo assim um ponto de pivô correto dentro do modelo digital. A incorporação de dados 3D obtidos de um scanner óptico aos dados volumétricos provenientes de imagens de CBCT serve para criar uma estrutura de referência espacial ideal, facilitando a geração de representações altamente precisas dos tecidos duros e moles presentes na cavidade oral (Barone;Paoli;Razionale, 2015)

3.2 Planejamento digital

A escolha do software é o principal ponto focal para os profissionais que embarcam na utilização de alinhadores personalizados. O fluxo de trabalho convencional de todos os softwares de planejamento ortodôntico 3D é ilustrado na Figura 4. Embora os recursos fundamentais das opções de software sejam semelhantes, certos atributos distintos fornecem valor adicional e desempenham um

papel fundamental no processo de seleção. Uma visão geral abrangente de várias soluções de software no mercado, juntamente com seus respectivos recursos, é apresentada na Tabela 1

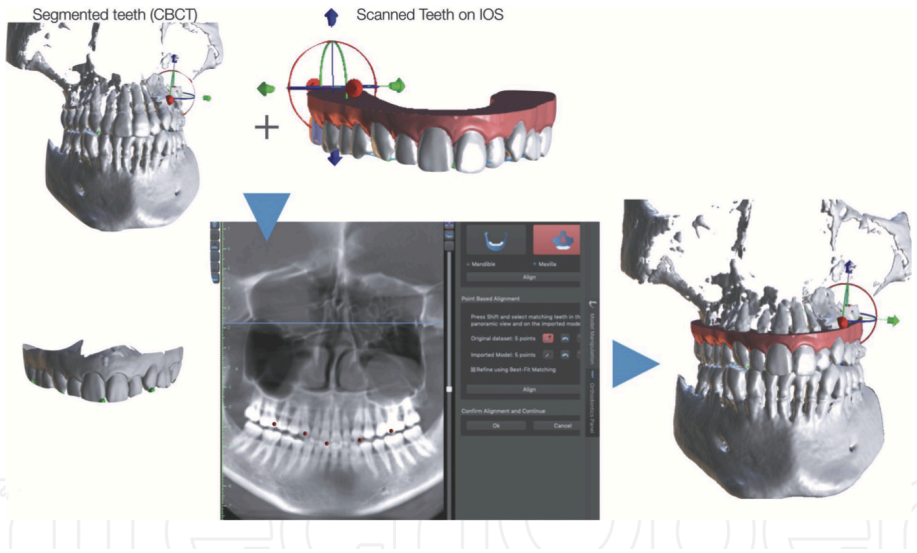


Figura 1 - Alinhamento 3D da segmentação das coroas e raízes com escaneamento intra oral IOS utilizando os dentes como referência

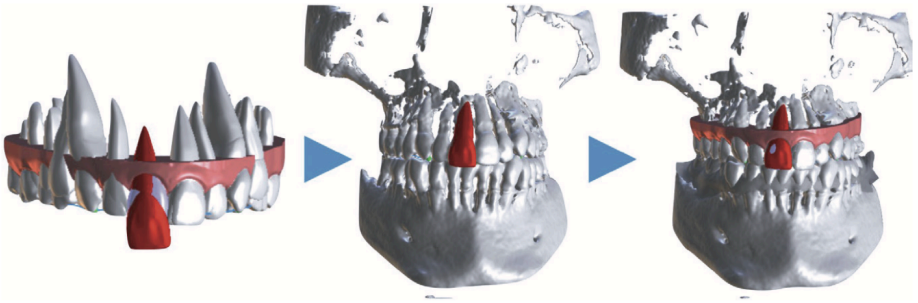


Figura 2 - Alinhamento virtual dos dentes em 3d com a segmentação das raízes

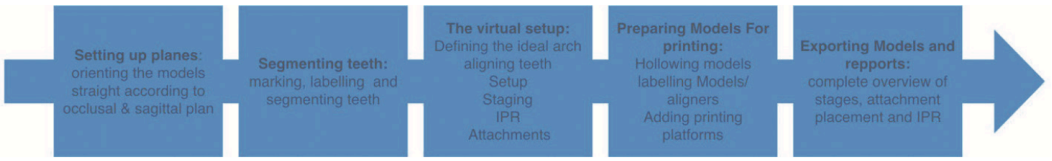


Figura 3 - Fluxo de trabalho para planejamento dos alinhadores

	3shape		Sursmile	C+ model	Ulab	Ortup	BSB Ortho	ArchForm	SoftSmile
Grid overlay features	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Automated Segmentation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual or group movement of teeth	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Customize attachement size/ dimension	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Auto place attachment					✓	✓	✓	✓	✓
IPR adjustment per contact		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Staging IPR steps		✓	✓	✓	✓	✓			
Same day starts	✓		✓		✓			✓	✓
Automated set-up		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Print horizontal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Print vertical: add platform				✓	✓		✓	✓	✓
Printing hollow				✓	✓		✓	✓	✓
Labels Models	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aligners setps on models		✓		✓	✓		✓	✓	
Atomated aligner trimming for milling machine					✓		✓		
Predectibility and gradiant difficulty for tooth movement				✓					
License fee	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Fee per case/aligner exported				✓	✓		✓		
Directly print Aligner		✓					✓		
Pontic for extraction Cases			✓			✓			
Virtual root		✓				✓	✓		✓

Tabela1 - Diferentes softwares disponíveis no mercado e suas características

3.2.1 Segmentação automática

Quase todos os programas oferecem a funcionalidade de segmentação automática. Um algoritmo de inteligência artificial (IA) detecta a borda gengival de cada dente. Utilizando IA, o software segmenta e identifica os dentes automaticamente. Em seguida, eles são rotulados, e o software cria

automaticamente um eixo longo e uma linha de sulco central. Se necessário, o software permite ajustes manuais das bordas com uma ferramenta intuitiva de edição com pincel, além de possibilitar a edição dos rótulos dos dentes, a correção dos sulcos e a adaptação do eixo longo (Emara et al., 2020).

3.2.2 Simulação em tempo real

O software de configuração ortodôntica 3D permite simulação em tempo real com recursos de alinhamento intuitivo, facilitando o deslocamento dos dentes para suas posições desejadas, cálculo de colisão de contato oclusal e opções de IPR. Além disso, o software ortodôntico 3D possibilita alinhar os dentes a uma forma de arco personalizável, ajustando a forma do arco usando pontos de controle posicionados ao seu redor.

No entanto, nem todos os programas permitem movimentos esqueléticos, avaliação de múltiplas estratégias de tratamento e criação de simulações de tratamento para casos cirúrgicos, restauradores e de extração. Além disso, recursos relacionados às capacidades do modelo, como a análise de Bolton em cada modelo e medições automatizadas da largura dos dentes e da largura do arco, não estão disponíveis em todos os softwares (Gül;Karsli;Kurt, 2019).

3.2.3 Estagiamento avançado e sequencial

Softwares de configuração 3D elaboram uma proposta de planejamento; o usuário percebe a diferença na capacidade de personalização desse planejamento. BSB ortho, uLab e ArchForm permitem ao ortodontista selecionar os dentes a serem movidos inicialmente, alcançando a distalização sequencial e estabelecendo a ordem dos movimentos dentários (D’Alessandro et al., 2020).

3.2.4 Attachments

A inclusão de *attachments* é uma funcionalidade comum encontrada nos softwares de configuração 3D. No entanto, alguns desses programas se destacam por oferecer recursos adicionais que proporcionam uma experiência mais avançada e personalizada. Entre esses recursos, destacam-se a colocação automática, que se ajusta de acordo com o movimento de cada dente, e a capacidade de criar attachments personalizados. Esses *attachments* personalizados permitem ajustar não apenas o tamanho, mas também a inclinação, proporcionando um controle ainda mais preciso sobre o movimento dos dentes (D’Alessandro et al., 2020).

O princípio fundamental da Ortodontia, segundo Brudvik e Rygh (1994), é que o cemento é mais resistente à reabsorção, de modo que as forças ortodônticas normalmente induzem remodelação óssea, com consequente movimentação dentária, porém com grau de reabsorção radicular insignificante do ponto de vista clínico.

3.2.5 Modelos prontos para imprimir

Ao fazer a transição da conclusão de um plano de tratamento para o início de uma impressão, uma quantidade significativa de tempo valioso é gasta na preparação de arquivos STL. Embora todos os aplicativos de software ofereçam a capacidade de exportar arquivos STL, alguns simplificam todo o processo de fabricação, fornecendo uma experiência perfeita, intuitiva e simples.

O Blueskyplan ortho, o Archform e o ULab têm a capacidade de preparar automaticamente modelos para impressão 3D, garantindo que todos os modelos sejam feitos ocos e equipados com uma barra para impressão vertical sem a necessidade de suporte adicional [Blueskyplan; softsmile; archform, 2024]. Normalmente, os técnicos alocam de 5 a 7 minutos para a preparação de cada modelo, mas com o BlueSkyPlan Ortho, são necessários apenas 2 minutos para preparar modelos para um caso inteiro. A incorporação de recursos como modelos ocos e otimização da inclinação para impressão vertical facilita um processo de configuração virtual suave, rápido e conveniente, economizando resina e tempo de impressão.

O ato de rotular modelos é uma característica comum que permite a inclusão de letras e números nos modelos para distinguir entre pacientes e ortodontistas. No entanto, a inclusão de etiquetagem especial, como etiquetagem automática que imprime nos alinhadores, é exclusiva para aplicativos de software selecionados como BSB Ortho, Archform e Ulab [Blueskyplan; softsmile; archform, 2024].

3.2.6 Fechamento de espaços e dentes faltantes

Projetado especificamente para casos de extração, esse recurso não é universalmente acessível em todas as plataformas de software. Nos softwares Archform e ORTH'UP, a extração dos dentes pode ser realizada a qualquer momento durante o processo de planejamento do tratamento (3d-totem;Archform, 2024). Esses dois aplicativos de software permitem que insiram um pôntico que se ajusta em tamanho à medida que a lacuna se fecha. O pôntico pode replicar a forma do

dente extraído, espelhar o dente contralateral ou ser escolhido em uma biblioteca de dentes predefinida (Archform, 2024). No caso do SureSmile, as lacunas podem ser criadas para a colocação do implante ou fechadas após uma extração; quando um espaço excede 3 mm, um dente virtual é introduzido para preencher o gap (Suresmile, 2024). Essa funcionalidade eficiente e rápida resulta em uma economia significativa de tempo durante a preparação de casos para assistentes eliminando a necessidade de preenchimento desse espaço manualmente nos modelos impressos antes da termoformagem dos alinhadores (3d-totem, 2024).

3.2.7 Linha de recorte do alinhador

Com a utilização da BSB ortho, os profissionais têm autonomia para selecionar o design da linha de corte, com bases de posicionamento personalizadas sendo incorporadas ao alinhador para um corte preciso por meio de corte a laser automatizado (Blueskyplan, 2024). A geração da linha de corte do alinhador é automatizada, dependendo das especificações de “forma da curva” e “margem de recorte” nas "Preferências". Esses parâmetros estão sujeitos a ajustes manuais e podem ser prontamente regenerados na interface ortodôntica. Posteriormente, a curva pode ser exportada para a etapa final, que envolve o corte automático dos alinhadores usando fresadoras (Blueskyplan, 2024). O software conhecido como ORTH'UP fornece um recurso que permite o cálculo do limite do alinhador em cada fase do plano de tratamento, transformando-o em uma representação 3D no modelo físico. Este guia visual simplifica o processo de corte do alinhador por assistentes, aumentando a velocidade e a precisão (3d-totem, 2024).

3.3 Impressão 3D

O setor odontológico vem passando por uma transformação significativa por um longo período, atribuível ao movimento odontológico digital contínuo que vem moldando seu cenário. O advento da manufatura aditiva, em particular, desempenhou um papel fundamental em capacitar a indústria odontológica a ampliar a utilização de várias tecnologias digitais, marcando uma mudança significativa em sua dinâmica operacional. Sem dúvida, o setor odontológico se destaca como um mercado altamente promissor para a integração da tecnologia de impressão 3D, pois

aborda efetivamente o aspecto crucial de produtos personalizados e feitos sob medida para atender às diversas necessidades dos pacientes que buscam soluções odontológicas.

A acessibilidade da impressão 3D agora se tornou cada vez mais viável para ortodontistas, oferecendo a eles uma ferramenta valiosa para aprimorar sua prática. A aplicação da impressão 3D na ortodontia não apenas simplifica os processos de produção, reduzindo o tempo e as despesas envolvidas, mas também apresenta um reino de potencial inexplorado esperando para ser explorado e aproveitado. A trajetória de crescimento da impressão 3D em ortodontia parece estar em uma tendência constante, prometendo novos avanços e inovações no campo (Bartkowiak;Walkowiak-Sliziuk, 2018).

3.3.1 Impressão 3D por modelagem de deposição fundida (FDM)

A impressão 3D por modelagem de deposição fundida (FDM) é uma técnica de fabricação que envolve a criação sequencial de várias camadas por meio da extrusão de um filamento de plástico fundido por meio de uma extrusora aquecida. Esse processo permite a fabricação de formas intrincadas e complexas construindo o objeto camada por camada. A tecnologia permite o uso de uma ampla variedade de materiais que podem ser derretidos e extrudados por meio de um bocal aquecido, desde que atinjam uma temperatura de fusão adequada. Esses materiais são normalmente fornecidos na forma de um filamento contínuo com um diâmetro variando de 1,75 a 3 mm, enrolado em uma bobina pesando 500 g ou 1 kg. Entre os materiais mais utilizados para impressão 3D FDM de modelos ortodônticos estão o ácido polilático (PLA), o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) e o GreenTech pro. Esses materiais oferecem um equilíbrio de propriedades que os tornam adequados para a produção de modelos dentários precisos e duráveis.

O ácido polilático (PLA) se destaca como um polímero totalmente biodegradável que pode passar por compostagem industrial, tornando-o uma escolha ecológica para aplicações de impressão 3D. O PLA é derivado de recursos renováveis, como amido, beterraba, milho ou cana-de-açúcar, por meio de um processo de fermentação. Uma das principais vantagens do PLA é sua natureza atóxica, pois não emite fumaça nociva durante o processo de impressão, garantindo um ambiente de trabalho seguro. No entanto, o PLA tem limitações, particularmente relacionadas à sua temperatura de transição vítrea de aproximadamente 60°C. Essa

característica restringe sua usabilidade em aplicações que envolvem altas tensões térmicas, como alinhadores de termoformagem usados em ortodontia. Apesar dessa desvantagem, o PLA continua sendo uma escolha popular na impressão 3D devido à sua acessibilidade e versatilidade, tornando-o um material comum para a criação de modelos dentários. Os pesquisadores introduziram versões aprimoradas do PLA, como o Pla Ultra e o PLA-X3, que são projetadas para suportar maiores cargas mecânicas e térmicas, expandindo as aplicações potenciais desse polímero biodegradável em vários setores (Tumer;Erbil, 2021).

3.3.2 Impressão 3D por estereolitografia (SLA)

A impressão 3D estereolitográfica (SLA) é amplamente reconhecida como a tecnologia predominante utilizada no campo da odontologia, principalmente devido à sua precisão excepcional e ao acabamento superficial impecavelmente liso que obtém após a conclusão. Quando comparado ao Fused Deposition Modeling (FDM), o SLA oferece, sem dúvida, um nível significativamente superior de acabamento superficial para objetos com espessuras de camada idênticas. O processo de estereolitografia (SLA) representa uma forma específica de fabricação aditiva, que se enquadra na categoria de técnicas de fotopolimerização em Vat. No âmbito do SLA, os objetos são meticulosamente construídos por meio da cura seletiva de uma resina polimérica, camada por camada, utilizando um feixe de laser ultravioleta (UV).

A utilização da luz ultravioleta neste contexto normalmente envolve um feixe de laser simples em escala micrométrica que varre sistematicamente toda a camada, ponto a ponto. Alternativamente, a projeção de luz UV também pode assumir a forma de uma projeção abrangente de uma camada inteira facilitada por um projetor DLP (Direct Light Processing), resultando na polimerização instantânea da camada completa. Em termos de velocidade, a tecnologia DLP supera inegavelmente as metodologias tradicionais de SLA.

No cenário dos fabricantes de impressoras 3D SLA, a 3D Systems se destaca como uma das entidades pioneiras responsáveis pelo início dessa tecnologia inovadora. No entanto, novos participantes, como a Asiga, também fizeram contribuições significativas, principalmente ao introduzir as inovadoras impressoras 3D de processamento direto de luz (DLP) (Huang;Qin;Wang, 2020). Além disso, a Formlabs desempenhou um papel fundamental na revolução das práticas odontológicas ao introduzir no mercado impressoras 3D para consultórios,

exemplificadas pela inovadora impressora FORM2 que facilita a impressão 3D de materiais dentários (Haoyuan et al., 2020).

3.3.3.1 Modelos de resina

Recentemente, todos os fabricantes de resina iniciaram a produção de resinas especializadas destinadas a modelos odontológicos, abrangendo tanto a área de prótese quanto a de ortodontia. Essas novas resinas dedicadas se destacam por várias características superiores em comparação com as resinas padrão. Primeiramente, elas oferecem uma velocidade de impressão consideravelmente mais rápida, o que é essencial para aumentar a eficiência no ambiente clínico e de laboratório. Além disso, essas resinas são projetadas para serem altamente precisas, garantindo que os modelos dentários produzidos correspondam exatamente às especificações necessárias para um tratamento eficaz.

Outra vantagem significativa dessas resinas é o seu menor grau de encolhimento durante o processo de cura, o que contribui para a estabilidade dimensional e a precisão dos modelos finais. Essa característica é crucial para garantir que as próteses e os aparelhos ortodônticos se ajustem corretamente e proporcionem os resultados desejados. Além das suas propriedades técnicas, as resinas para modelos dentários são geralmente fabricadas em uma cor bege. Essa escolha de cor não é apenas estética, mas também prática, pois facilita a visualização dos detalhes finos e das características anatômicas dos modelos, auxiliando os profissionais na análise e no planejamento dos tratamentos. (Formlabs, 2024).

3.3.3.2 Resina de alta resistencia translucida (LT).

Trata-se de uma resina biocompatível de classe II, projetada para uso a longo prazo na impressão de splints rígidos, aparelhos ortodônticos duráveis e protetores noturnos. Estudos preliminares sugerem que esta resina pode ser adequada para a impressão 3D direta de alinhadores transparentes. Isso se deve à sua alta precisão geométrica e às propriedades mecânicas que se comparam favoravelmente às dos alinhadores termoformados. A biocompatibilidade da resina garante que ela seja segura para uso prolongado na boca, enquanto sua durabilidade a torna ideal para aplicações ortodônticas onde a resistência e a estabilidade são essenciais (Jindal et

al,. 2019)

3.3.3.3 Tera Harz TC-85

A Graphy, uma empresa sul-coreana especializada em resinas fotopolimérica para impressão 3D, lançou um material de impressão 3D dentária denominado Tera Harz, com o objetivo de superar as limitações das outras resinas de impressão 3D utilizadas na área odontológica. A resina Tera Harz da Graphy recebeu certificações de dispositivos médicos CE, FDA e KFDA, atestando sua conformidade com rigorosos padrões de segurança e eficácia.

O material Tera Harz está disponível em duas versões: transparente (TC-85DAC) e branca (TC-85DAW). A resina transparente Tera Harz é completamente translúcida e apresenta alta durabilidade, sendo ideal para dispositivos de tratamento ortodôntico. Por outro lado, a versão branca do material Tera Harz combina qualidades estéticas com a mesma durabilidade, oferecendo uma opção atraente e funcional para aplicações odontológicas que exigem tanto resistência quanto uma aparência agradável (Jindal et al., 2020)

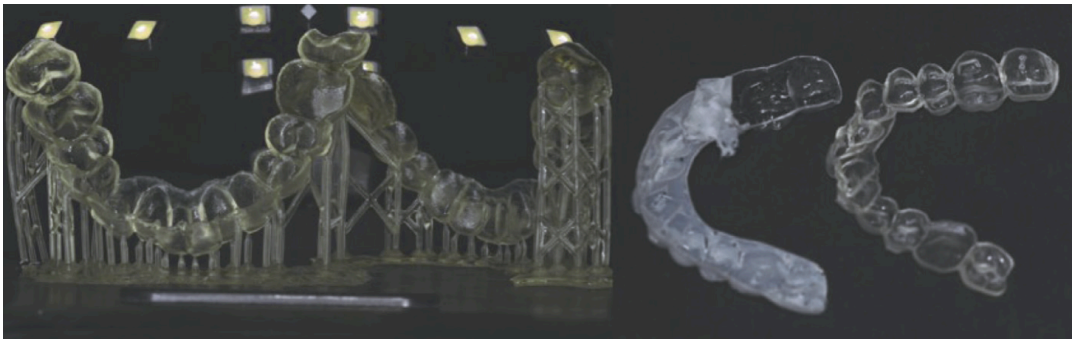


Figura 4 - Alinhadores impressos utilizando a resina Tera Harz TC-85 (D) colocada lateralmente ao alinhador termoformado (E) (Biolon 0,75mm).

3.4 Etapa pós-impressão

Os objetos produzidos com tecnologias de impressão 3D geralmente necessitam de algum grau de tratamento pós-produção. Este passo crucial no fluxo de trabalho da impressão 3D é conhecido como pós-processamento. Inicialmente, os modelos impressos em 3D devem ser lavados em álcool isopropílico (IPA) ou éter monometílico de tripropileno glicol (TPM). Para uma limpeza ideal, é necessário agitar as peças dentro do solvente, além de deixá-las de molho. Habitualmente, a

limpeza dos modelos impressos em 3D requer duas lavagens em IPA ou TPM para garantir que estejam completamente limpos. O pós-processamento é essencial para remover resíduos de resina não curada e obter uma superfície mais lisa e detalhada. Este processo garante que as peças finais atendam aos padrões de qualidade e funcionalidade necessários para suas aplicações específicas. Além da lavagem, outras etapas de pós-processamento podem incluir a cura adicional sob luz UV, a remoção de suportes e o acabamento superficial para aprimorar a aparência e a precisão dos modelos.

Quando uma peça de SLA é concluída, a reação de polimerização pode não estar totalmente completa. Isso significa que as peças ainda não alcançaram suas propriedades finais de material e podem não funcionar adequadamente, especialmente em partes sujeitas a tensão. Para solidificar as propriedades dos materiais, é necessário expor os objetos impressos à luz e ao calor em um processo chamado pós-cura. Normalmente, utiliza-se uma caixa de luz UV para realizar esse tratamento pós-impressão, garantindo a cura completa do material e maximizando sua resistência.

A pós-cura é crucial para assegurar que as peças impressas em SLA atinjam sua máxima durabilidade e estabilidade. Esse processo adicional de exposição à luz UV e ao calor promove uma polimerização completa, resultando em uma maior resistência mecânica e melhores propriedades físicas. Sem esta etapa, as peças podem ser mais frágeis e menos duráveis, comprometendo sua funcionalidade e desempenho em aplicações práticas (Haoyuan et al., 2020).

3.5 Alinhadores termoformados

Os primeiros alinhadores desenvolvidos pela Align Technology eram compostos por uma única camada de poliuretano rígido, produzido a partir de diisocianato de difenilmetano e 1,6-hexanodiol. Com o objetivo de aprimorar suas propriedades mecânicas e transparência, em 2012, a Align Technology desenvolveu um novo poliuretano termoplástico chamado Smart Track. Esse novo material trouxe melhorias significativas, oferecendo maior flexibilidade e resistência, além de uma melhor adaptação aos dentes, proporcionando resultados mais eficazes no tratamento ortodôntico.

O aumento na demanda por alinhadores transparentes impulsionou o desenvolvimento de novos materiais termoplásticos por diversas empresas. Entre

elas, destacam-se Invisalign, Duran, Biolon, Zendura, Erkodur, ClearCorrect, Erkoflex 95, Erkoloc Pro, etc. vide tabela 2 (Papadimitriou et al., 2018). A maioria das empresas de alinhadores atuais utiliza polietileno tereftalato glicol transformado (PETG), embora também sejam empregados outros materiais como polipropileno, policarbonato, poliuretanos termoplásticos, copoliéster e muitos outros (Lombardo et al., 2017)

A natureza mecânica dos polímeros dentários apresentam fatores influentes intrínsecos (estruturas moleculares e cristalinas) e extrínsecos (temperatura, umidade). Os polímeros utilizados são geralmente amorfos ou semicristalinos. Uma baixa cristalinidade dos polímeros geralmente significa alta flexibilidade, alta elasticidade e adaptabilidade à forma do dente, mas, por outro lado, apresentam baixa resistência à tração, baixa resistência química e estabilidade reduzida. Do ponto de vista clínico, polímeros com alta flexibilidade e elasticidade são mais convenientes para os pacientes inserirem ou removerem os alinhadores. Além disso, eles se ajustam melhor à complexidade da anatomia dos dentes, se prendem perfeitamente a qualquer superfície. Em comparação com alinhadores feitos de materiais rígidos, eles também garantem a continuidade da expressão da força durante o tratamento ortodôntico (Condo et al., 2018).

Product name	Component	Manufacturer
Zendura	Poly-Urethane (PU)	Bay materials
Zendura FLX.	Thermoplastic Polyurethane (TPU)	
Essix ace+	Copolyesther	Dentsplay
Essix c+	Polypropylene/ethylene/copolymer	Dentsplay
Clearaligner	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Scheu Dental
Biolon	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Dreve Dentamid gmbh)
Smilers	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Biotech Dental
Smiletech	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Ortodontica Italia srl
Taglus tuff	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Allure Ortho
Clearcorrect	Zendura: POLY-URETAN (PU)	Strauman group brand
Duran	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Scheu Dental
Track A	Polyethylene terephthalate glycol (PETG)	Forestadent
Track B	Polyethylene terephthalate glycol thermoplastic polyurethane (TPU/PET-G)	Forestadent
Erkodur-al	Copolyester	Erkodent gmbh

tabela 2 - Diferentes placas disponíveis no mercado

3.6 Plastificadoras

São máquinas capazes de realizar modelagem através da termoformação de polímeros e são classificadas em:

- Máquinas formadoras de vácuo que operam segundo o princípio da depressão do ar onde ocorrem abaixo do modelo a ser termoformado, garantindo assim a sucção do material plástico acima. Exemplo: Essix Machine®, Tray Vac®, Econo Vac®, Erkopress 240®Biostar®

Máquinas formadoras de pressão que geram ar pressurizado acima do material termoplástico, fazendo uma pressão positiva contra o modelo. Grânulos de aço revestem parcialmente o modelo, limitando a termoformação às áreas descobertas. Exemplo: Ministar®, Erkoform® ou Drufosmartscan® (Cellier, 2019) Figura 5.



Figura 5 - Plastificadoras de pressao positiva indicadas para produção de alinhadores

3.6.1 Corte e polimento dos alinhadores

Após a termoformagem, o alinhador é primeiro cortado no modelo impresso em 3D com cinzéis grandes; em seguida, é delicadamente removido para evitar deformações permanentes no alinhador. O recorte é finalizado com tesouras curvas. O polimento das bordas é feito com polidores para evitar bordas afiadas (Cowley;Mah;O'Toole, 2012).

De acordo com Cowley e colaboradores, existem três designs de alinhadores

na margem gengival:

- Um desenho de margem gengival recortado, ao longo do zênite gengival.
- Uma margem gengival em linha reta ao longo do zênite gengival.
- Uma margem gengival em linha reta acima do zênite gengival.

4 MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados Pubmed (Medline), LILACS e Google Scholar utilizando as palavras-chave: Ortodontia, Aparelhos Ortodônticos, Alinhadores Transparentes In-house. MeSH terms "Clear Aligners In-house" e "Clear Aligners In-office".

Foram utilizados artigos científicos de revisão bibliográfica, revisão sistemática, meta-análises, estudos observacionais, dissertações e sites em língua inglesa ou portuguesa no período de 2008 a 2024.

Os critérios de inclusão utilizados foram de artigos que apresentavam clareza e objetividade acerca do assunto.

5 DISCUSSÃO

Vantagens dos Modelos Digitais na Odontologia

Os modelos digitais oferecem diversas vantagens, como a acessibilidade instantânea de informações tridimensionais, eliminando a necessidade de recuperar modelos de gesso de áreas de armazenamento. Isso reduz a necessidade de grandes espaços para armazenar modelos de gesso e torna a análise menos demorada (Jedliński et al., 2021). Com modelos digitais em 3D, os clínicos podem avaliar modelos dentários em aspectos tridimensionais e realizar análises dentárias com maior detalhamento. A inter-relação entre os arcos maxilar e mandibular pode ser melhor observada em oclusão em diferentes cenários dentro de softwares 3D (Sousa et al., 2012). Além disso, os modelos digitais possibilitam tratamentos e configurações virtuais (Hajeer et al., 2004). Os modelos 3D podem ser processados para analisar dentes específicos e estimar o eixo ou posição dos dentes individualmente, fornecendo uma previsão tridimensional do movimento dentário ao superpor mudanças dentárias em estruturas de referência estáveis (Gül;Karsli;Kurt, 2019).

Escaneamento Óptico de Mesa

O escaneamento óptico de mesa é um procedimento simples, rápido e direto; os modelos não necessitam de uma segunda digitalização. Ademais, o procedimento de escaneamento óptico é uma tarefa totalmente delegável. No entanto, apesar de todas as vantagens, é um procedimento de alto custo e, portanto, inacessível para muitos consultórios e laboratórios odontológicos. Além disso, nos procedimentos de escaneamento de impressão, o registro da oclusão do paciente não pode ser obtido (Emara et al., 2020).

Inovações Introduzidas pelos Escâneres Intraorais

Os escâneres intraorais introduzem inovações na ortodontia, como o monitoramento do movimento dentário por meio da sobreposição de modelos digitais em alinhadores, uma maior personalização de aparelhos ortodônticos como contenções removíveis (Kravitz et al., 2014) e diagnósticos mais precisos, planejamento de tratamento e até simulação de possíveis movimentos ortodônticos em

softwares apropriados (Grünheid;McCurty;Larson, 2014). Além disso, o escaneamento requer mais tempo de cadeira, mas foi considerado menos desagradável do que o procedimento padrão de tomada de impressão pelos pacientes, quando questionados sobre qual tipo de impressão os satisfaz mais, escolhem a digital devido aos resultados centrados no paciente (Joda, 2016). Goracci e colaboradores (2016) através de uma revisão sistemática sobre a precisão dos escaneamentos intraorais relatou que as medições inter e intra-arco de escaneamentos intraorais foram mais confiáveis e precisas em comparação com as impressões convencionais. Outra revisão sistemática por Chochlidakisem e colaboradores (2016) em prótese dentária relatou que as restaurações dentárias fabricadas utilizando impressões digitais exibiram um ajuste marginal similar àquelas fabricadas utilizando impressões convencionais.

Fatores que Afetam a Precisão dos Escâneres Intraorais

De acordo com Park e colaboradores (2018) diversos fatores influenciam a precisão dos escâneres intraorais (IOS), tais como:

1. **Escâner**: capacidade de registrar detalhes e sua precisão.
2. **Operador/Usuário**: fundamentos do escaneamento e trajetória do escaneamento.
3. **Área de Escaneamento**: dimensão da área de escaneamento, comprimento do arco e irregularidades na superfície.
4. **Fatores Ambientais Intraorais**: temperatura, umidade relativa, iluminação, objetos brilhantes, reflexivos ou transparentes. Solabrietta et al. indicaram que as diferenças na precisão entre os escâneres são básicas, e as características que tornam o trabalho diário mais fácil e agradável para o profissional e o paciente parecem ser muito mais relevantes.

Comparação entre Impressões Convencionais e Modelagem Digital

Após uma impressão convencional com alginato, são necessários em média 22 minutos para a modelagem em gesso, incluindo a vertagem e o acabamento. No mesmo estudo de Park e colaboradores (2018), os modelos digitais foram obtidos em 5 minutos após impressão, com 14 segundos para o escaneamento CBCT da impressão, 1 minuto para a exportação do arquivo CBCT e 2 minutos para gerar um

arquivo STL para cada arco. Em termos de eficiência, a modelagem digital usando CBCT parece ser viável clinicamente e está correlacionada a uma redução no tempo de laboratório. Não foram encontradas diferenças significativas na maioria das medições entre os modelos de escaneamento em gesso e os modelos digitais de CBCT. O CBCT pode ser adequado para uso na prática clínica devido às suas vantagens, incluindo a redução do tempo de trabalho para a renderização do modelo digital.

Configuração e Digitalização de Arcos Dentários

De acordo com Barone e colaboradores (2015) a configuração ortodôntica em 3D é realizada em modelos tridimensionais maxilares e mandibulares em oclusão e a utilização do CBCT para digitalizar arcos dentários é indubitavelmente possível. No entanto, o registro da oclusão, que envolve indexar um modelo em relação ao outro com esse método, não é tão intuitivo quanto com um escaneamento de mesa ou escaneamento intraoral, e requer varreduras adicionais de CBCT dos modelos em oclusão, além da utilização de um software de terceiros para alinhar, relacionar e indexar os modelos antes de importá-los para o software de configuração 3D.

Escolha do Método de Digitalização

Para Emara e colaboradores (2020) o escaneamento óptico de mesa é a melhor escolha para a digitalização de modelos dentários. No entanto, o CBCT provou ser uma opção altamente precisa. Mesmo que os escaneamentos intraorais testados apresentem resultados mais baixos em termos de precisão, eles ainda são uma opção viável e acessível para a digitalização de modelos, com resultados dentro da faixa aceitável.

Escolha de software para alinhadores in-house

Recursos únicos tornam alguns softwares extremamente valiosos. Ao escolher um programa para alinhadores in-house, os ortodontistas devem procurar funcionalidades como a correspondência dos dados do CBCT com os dados do IOS e a possibilidade de posicionar as raízes virtuais no software de configuração 3D de acordo com os dentes segmentados em 3D a partir do CBCT. A sobreposição precisa do escaneamento intraoral sobre os dados do CBCT permite ao ortodontista visualizar claramente uma representação dimensional verdadeira de um dente e sua raiz em

relação à crista alveolar (D'alessandro et al., 2020). Enquanto a configuração virtual convencional foca no movimento das coroas, o modelo digital 3D inclui as posições das raízes, possibilitando um resultado melhor (Zhang et al., 2015).

Funcionalidades Avançadas dos Softwares

BSB ORTHO oferece opções avançadas, como a integração de dados de CBCT e escaneamento facial. A sobreposição desses dados com os modelos 3D é perfeita com o software BSB ORTHO, que também permite a importação e exportação de modelos em alta definição, minimizando a decimação e alcançando um bom ajuste dos alinhadores (Blueskybio, 2024).

Os softwares Archform, uLab e 3Shape proporcionam funcionalidades para o mesmo dia sem a necessidade de criar um planejamento completo de tratamento. Isso agrega valor ao clínico, oferecendo uma resposta rápida e trazendo ortodontia instantânea para suas práticas (Shotell, 2024).

O software Model+ da Carestream é um novato relativo no espaço de software para alinhadores; possui uma funcionalidade única que permite ao clínico avaliar movimentos individuais dos dentes e classificar tanto a complexidade do caso quanto a previsibilidade dos movimentos dentários (Shotell, 2024).

Uso e Sincronização de Dados

O ArchForm pode ser utilizado em vários computadores, mantendo a sincronização dos dados dos pacientes. Por exemplo, o ortodontista pode iniciar um projeto no computador do consultório e continuar no laptop em casa. Além disso, o software mantém os pacientes no cronograma, possibilitando ajustes instantâneos durante o tratamento para resultados mais rápidos e precisos, com refinamentos em um dia (Archform, 2024).

Os softwares ArchForm e ULab possuem recursos assistidos por inteligência artificial, incluindo a remoção de brackets com um toque, facilitando o acabamento dos casos com brackets em alinhadores ou a preparação de contenções finais antecipadamente, permitindo a remoção fácil dos brackets após o escaneamento (Ulabsystems, 2024).

Impressão 3D Direta de Alinhadores

A impressão 3D direta de alinhadores é mais inovadora e está gradualmente ganhando participação no mercado, especialmente com o surgimento de resinas mais adequadas. Deltaface (Deltaface, 2024) e BSB Ortho (Blueskybio, 2024) são os únicos dois softwares no mercado que oferecem essa funcionalidade. A rigidez do alinhador é ajustada localmente alterando a espessura dos alinhadores oferecendo muitas vantagens, como melhor precisão, economia de tempo ao eliminar as etapas de termoformagem, corte e polimento; também permite uma economia de resina, eliminando a necessidade de imprimir os modelos (Tartaglia, et al., 2021).

Custos e Assinaturas de Software

Muitos softwares exigem taxas de assinatura mensal, taxas de exportação por caso ou preços por alinhador, sendo crucial selecionar um software funcional e de custo-benefício para o consultório (Shotell, 2024).

Impressão 3D por Deposição de Material Fundido (FDM) na Odontologia

A impressora FDM (Fused Deposition Modeling) extruda uma resina que foi aquecida ligeiramente acima de seu ponto de fusão, depositando-a camada por camada. O material aquecido endurece imediatamente após ser extrudado, minimizando assim as imprecisões. Dos materiais disponíveis, os mais comuns são ácido polilático (PLA) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS), que geralmente vêm em bobinas facilmente substituíveis conforme necessário. A impressão 3D FDM tem a vantagem de ser de baixo custo e não requerer pós-processamento, embora seja relativamente lenta e menos bem acabada em comparação com a estereolitografia. No entanto, oferece precisão suficiente para modelos ortodônticos, sendo capaz de imprimir modelos dentários com precisão de 100 a 50 micrômetros com impressoras 3D semi-profissionais, como a Ultimaker S5 e a Raise3D E2. É possível reciclar modelos ortodônticos antigos através de máquinas de extrusão de filamento (por exemplo, 3DEVO) para alcançar um custo de produção quase zero e uma produção ecológica (Tumer;Erbil, 2021).

Considerações de Segurança e Qualidade na Impressão FDM

Durante o processo de impressão 3D com ABS, partículas nanométricas são

emitidas e são prejudiciais se inaladas. Para evitar a inalação dessas partículas nocivas, profissionais que desejam integrar essa tecnologia em sua área de prática devem usar uma sala de impressão 3D totalmente fechada e equipada com um extrator de fumaça para emissões de partículas ultrafinas das impressoras 3D de mesa (Stephens e al., 2013). Adicionar agentes aderentes na cama de impressão é fortemente recomendado para limitar a deformação (descolamento da peça da placa durante a impressão) do ABS (Tumer;Erbil, 2021).

Geralmente, não há pós-processamento para modelos dentários impressos em 3D por FDM, pois eles são geralmente impressos horizontalmente e não precisam de suportes ou plataforma de impressão. Apesar de ser lenta, essa tecnologia requer mínima intervenção do operador, pois após desprender o modelo da cama de impressão, os modelos estão prontos para o processo de termoformagem.

Resinas Biocompatíveis e Impressão Direta de Alinhadores

No contexto da fabricação de alinhadores, a resina biocompatível não é obrigatória, exceto na impressão 3D direta de alinhadores, que em breve se tornará mais comum. No entanto, a resina Dental LT pode apresentar uma imprecisão geral na espessura em comparação com o arquivo projetado, levando a movimentos indesejados (Jindal et al., 2020). Além disso, a orientação de impressão 3D e as condições de pós impressão (tempo de exposição à luz UV e calor) podem impactar as propriedades mecânicas e a biocompatibilidade da resina Dental LT segundo McCarty e colaboradores (2020). Estudos adicionais, tanto in vitro quanto in vivo, são necessários com base nessas afirmações para testar essa resina e outras resinas para impressão de alinhadores. Com a evolução dos materiais, a impressão direta de alinhadores substituirá o processo de termoformagem, economizando uma quantidade considerável de resina para modelos, otimizando a produção e reduzindo custos (Tartaglia et al., 2021).

Impacto da Termoformagem nas Propriedades dos Materiais Termoplásticos para Alinhadores

Ryu e colaboradores (2018) examinaram o impacto da termoformagem nas propriedades físicas e mecânicas de vários materiais termoplásticos para alinhadores transparentes (Duran, Essix A+, Essix ACE e eCligner). Eles observaram que a

transparência óptica, a força de tração e o módulo de elasticidade dos materiais dos alinhadores diminuíram após o processo de termoformagem, enquanto a absorção de água aumentou. Além disso, recomendaram avaliar a durabilidade desses materiais após a termoformagem para caracterizar suas propriedades para a aplicação clínica.

Avaliação da Transparência e Alterações de Cor

A transparência é avaliada para investigar o aspecto estético dos materiais. A transparência dos materiais diminuiu com o aumento de sua espessura. Além disso, com a diminuição da espessura após a termoformagem, a transparência também diminuiu, o que pode ser explicado pela deformação estrutural dos materiais termoplásticos resultando em diminuição da transparência. No entanto, essa mudança na transparência não comprometeu a aparência estética dos alinhadores transparentes (Ryu et al., 2018).

Muitos estudos avaliam a estabilidade dos materiais após o uso médio de duas semanas através das alterações colorimétricas dos alinhadores (Putrino;Barbato;Galluccio, 2021). Bernard e colaboradores (2020) afirmam que alguns alimentos mancham mais do que outros (especialmente o chá preto) e que os alinhadores Invisalign (TPU) eram mais propensos à pigmentação do que os ClearCorrect (PU) ou (PET-G) após a exposição ao café ou vinho tinto. O chá preto causou manchas significativas na superfície das três marcas testadas.

Absorção de Água e Degradação dos Polímeros

A absorção de água pode influenciar negativamente as propriedades mecânicas dos polímeros, levando à deterioração irreversível, pois a absorção de água muitas vezes está associada ao aumento de volume e, portanto, à deterioração dos polímeros. Além do efeito de deterioração, esse aumento volumétrico também leva a variações dimensionais dos dispositivos bucais, o que afeta as forças ortodônticas (Boubacri et al., 2009). Portanto, um material termoplástico ideal para um alinhador transparente deve ter baixa absorção de água (Hallmann;Gerngro, 2021).

Investigação das Propriedades dos Materiais de Termoformagem

Tamburrino e colaboradores (2020) investigaram as propriedades dos materiais para a produção de alinhadores por termoformagem. Os materiais utilizados em seu

estudo foram: Duran® (PETG, Sheu Dental GmbH), Biolon (PETG, Dreve Dentamid GmbH) e Zendura® (PU, Zendura Dental). A saliva artificial foi usada como agente de envelhecimento a uma temperatura de 37°C por 7 dias. A absorção de líquido do material Duran é quase a metade da do Zendura. Além da maior absorção de água, os autores observaram um declínio nas propriedades mecânicas do Zendura que pode estar relacionado ao mecanismo de destruição das ligações intramoleculares por moléculas de água.

Ryokawa e colaboradores (2006) relataram que a absorção de água pelo PETG e copoliéster aumentou para 0,8% em seu experimento de 2 semanas. Além disso, a absorção de água pelo PETG variou dependendo do tipo de material termoplástico. A absorção de água aumentou quando o poliuretano foi adicionado ao PETG durante o desenvolvimento de um novo material termoplástico para alinhadores termoformados (Ryu et al., 2018).

Propriedades Mecânicas dos Materiais de Alinhadores Após Termoformagem e Armazenamento em Saliva Artificial

Tamburrino e colaboradores (2020) investigaram as propriedades mecânicas dos materiais de alinhadores Duran, Biolon e Zendura no estado após a termoformagem e após o armazenamento em saliva artificial. Os autores descobriram que a tensão de escoamento à tração dos materiais Duran e Biolon mudou ligeiramente após a termoformagem (aumento de 9% para Duran e diminuição de 6% para Biolon), enquanto diminuiu em um terço para o Zendura . Após a exposição à saliva artificial, a tensão de escoamento à tração do material Duran retornou à sua força original, enquanto a tensão de escoamento à tração dos materiais Biolon e Zendura aumentou ligeiramente.

Módulo de Elasticidade e Capacidade de Entrega de Força

Um maior módulo de elasticidade é benéfico para alinhadores, pois aumenta a capacidade de entrega de força do alinhador sob deformação constante (Alexandropoulos, et al., 2015). Além disso, materiais com um módulo de elasticidade mais alto podem produzir as mesmas forças a partir de espessuras mais finas sendo proporcional à rigidez do material. No estudo, Tamburrino e colaboradores (2020) também examinaram o módulo de elasticidade dos materiais de alinhadores Duran,

Biolon e Zendura após a termoformagem e após o armazenamento em saliva artificial. O módulo de elasticidade dos materiais Duran e Zendura aumentou em 11% e 17%, respectivamente, após a termoformagem, enquanto o do material Biolon caiu em 7%. Observando o módulo de elasticidade após a exposição dos materiais à saliva artificial, nota-se um comportamento diferente (Papadopoulou et al., 2019). O módulo de elasticidade dos materiais Biolon e Zendura é relativamente estável, enquanto uma diminuição significativa foi observada para o Duran. Essa diminuição pode ser explicada pela absorção de água ocorrendo durante o armazenamento no fluido de saliva artificial (Hallmann;Gerngro, 2021). Com base nas investigações de Tamburrino e colaboradores (2020) é crucial considerar as mudanças nas propriedades mecânicas dos materiais de alinhadores após a termoformagem e o armazenamento em saliva artificial. A seleção de materiais para dispositivos ortodônticos deve ser baseada em uma caracterização completa de suas propriedades após os processos de fabricação e testes de simulação intraoral. Um material com um módulo de elasticidade mais alto e estabilidade após a exposição à saliva artificial é preferível, pois pode fornecer uma força de tratamento mais eficaz e previsível ao longo do tempo.

6 CONCLUSÃO

Os proprietários de clínicas odontológicas precisam investir não apenas em recursos materiais, mas também na educação de suas equipes para implementar o fluxo de trabalho dos alinhadores in-house. Embora a impressão 3D de alinhadores internamente exija que as práticas invistam tempo e dinheiro, eliminar as taxas de empresas terceiras e a capacidade de fornecer serviços consistentes de alta qualidade no mesmo dia justifica o investimento ao aumentar as margens de lucro, diminuir os prazos de tratamento e melhorar a satisfação dos pacientes.

A produção interna de alinhadores é uma excelente opção para clínicas que desejam um serviço mais lucrativo e rápido. Além das vantagens financeiras, a produção interna permite melhor controle e a personalização dos tratamentos, oferecendo aos pacientes uma experiência eficiente e satisfatória.(CUIDAR COM ESSAS CONCLUSÕES)

A implementação desse fluxo de trabalho requer flexibilidade e disposição para aprender novos processos que impulsionarão a clínica para frente. A equipe deve ser treinada para manusear equipamentos de impressão 3D, softwares de modelagem digital e os procedimentos específicos de fabricação de alinhadores. Esse investimento em educação e tecnologia não só moderniza a prática, mas também coloca a clínica à frente no competitivo mercado odontológico.

Portanto, apesar do custo inicial e do tempo necessário para a adaptação, os benefícios da produção interna de alinhadores em termos de rentabilidade, eficiência do tratamento e satisfação do paciente superam amplamente os desafios. Clínicas que adotarem essa abordagem estarão bem posicionadas para oferecer tratamentos inovadores e personalizados, garantindo um crescimento sustentável e uma melhor experiência para os pacientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amornvit, Paisarn; Sanohkan, Sanor; Peampring, Chompoonuch. **Studying the Optical 3D Accuracy of Intraoral Scans:** An In Vitro Study. *J Healthc Eng.***,** 2020, DOI: 10.1155/2020/5739312.

Alexandropoulos, Aggelos; Jabbari, Yaser S. Ali; Zinelis, Spiros; Eliades, Theodore. **Chemical and mechanical characteristics of contemporary thermoplastic orthodontic materials.** *Australian Orthodontic Journal.*, v. 31, p. 165-170, 2015.

ArchForm**.** Software. Disponível em: **https://www.archform.co/software/**. Acesso em: 6 jun. 2024.

Bartkowiak, T.; Walkowiak-Śliziuk, A. **3D printing technology in orthodontics – review of current applications**. *Journal of Stomatology*, v. 71, n. 4, p. 356-364, 2018. DOI: 10.5114/jos.2018.83410.

Baumgaertel, Sebastian; Palomo, Juan Martin; Palomo, Laura; Hans, Mark G. **Reliability and accuracy of cone-beam computed tomography dental measurements.** *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 136, p. 19-28, 2009.

Barone, S.; Paoli, A.; Razionale, A.V. Geometrical modeling of complete dental shapes by using panoramic X-ray, digital mouth data and anatomical templates. *Comput. Med. Imaging Graph.*, v. 43, p. 112-121, 2015.

Beuer, Florian; Schweiger, Juergen; Edelhoff, Dirk. Digital dentistry: **An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations.** *Br. Dent. J.***,** v. 204, p. 505-511, 2008.

Bernard, Gabrielle; Rompré, Pierre; Tavares, Jorge Ricardo; Montpetit, Alexandre. **Colorimetric and spectrophotometric measurements of orthodontic thermoplastic aligners exposed to various staining sources and cleaning methods**. *Head Face Med.*, v. 16, n. 1, p. 2, 2020. DOI: 10.1186/s13005-020-00218-2.

BlueSkyPlan. Orthodontic. Disponível em: **https://www.blueskyplan.com/orthodontic/**. Acesso em: 6 jun. 2024.

Boubakri, Ahmed; Elleuch, Kamel; Guermazi, Naoufel; Ayedi, Habib Faouzi. **Investigations on hygrothermal aging of thermoplastic polyurethane material.** Materials and Design., v. 30, p. 3958-3965, 2009.

Cellier, P.L. **Les aligneurs orthodontiques: nouvel outil thérapeutique, utilization au cabinetet perspectives.** *Sciences du Vivant [q-bio].*, 2019. ffdumas-02170054f.

Chochlidakis, Konstantinos M.; Papaspyridakos, Panos; Geminiani, Alessandro; Chen, Chun-Ju; Feng, I-Jui; Ercoli, Carlo. **Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: a systematic review and meta-analysis**. *J Prosthet Dent.*, v. 116, p. 184-190, 2016.

Condo, Roberto; Pazzini, Lucrezia; Cerroni, Luca; Pasquantonio, Giampiero; Lagana, Giacomo; Pecora, Alessandra **Mechanical properties of two generations of teeth aligners: change analysis during oral permanence.** *Dental Material Journal*, v. 37, p. 835-842, 2018.

Cowley, David P.; Mah, Jan; O'Toole, Brian. **The effect of gingival-margin design on the retention of thermoformed aligners.** *J Clin Orthod.*, v. 46, n. 11, p. 697-702, 2012; quiz 705.

D'Alessandro, Alessandra C.; D'Antò, Vincenzo; Razionale, Alessandro V.; Allesandri-Bonetti, Graziella**. Integrating CBCT and virtual models for root movement with clear aligners.** *J Clin Orthod.*, v. 54, n. 3, p. 159-166, 2020.

Deltaface. Aligner conception gouttiere dentaire transparente. Disponível em: https://deltaface.com/fr/aligner-conception-gouttiere-dentaire-transparente/. Acesso em: 6 jun. 2024.

Emara, Ashraf; Sharma, Nilesh; Halbeisen, Franca S.; Msallem, Basel; Thieringer, Florian M. Comparative Evaluation of Digitization of Diagnostic Dental Cast (Plaster) Models Using Different Scanning Technologies. *Dent J (Basel).*, v. 8, n. 3, p. 79, 2020. DOI: 10.3390/dj8030079.

Formlabs. Dental Model Data Sheet. Disponível em: https://dental-media.formlabs.com/datasheets/DentalModel-DataSheet.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024.

Goracci, C.; Franchi, L.; Vichi, A.; Ferrari, M. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod.*, v. 38, p. 422-428, 2016.

Gül Amuk, Neslihan; Karsli, Elif; Kurt, Gizem. Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod.*, v. 17, n. 1, p. 151-158, mar. 2019.

Grünheid, Thorsten; McCarthy, Scott D.; Larson, Brent E. Clinical use of a direct chairside oral scanner: An assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 146, p. 673-682, 2014.

Hallmann, L.; Gerngroß, M.D. Effect of Dental Thermoplastic Materials on the Clinical Effectiveness of Clear Aligner. *Austin J Dent.*, v. 8, n. 1, p. 1151, 2021.

Haouili, Nader; Kravitz, Neal D.; Vaid, Nilkamal R.; Ferguson, Dale J.; Makkiya, Lina. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.*, v. 43, n. 1, p. 68-76, 2016.

Hajeer, Mohammad; Millett, David; Ayoub, Ashraf; Siebert, John. Current products

and practices: applications of 3D imaging in orthodontics: part I. *J Orthod.*, v. 31, p. 62-70, 2004.

Hennessy, Joe; Al-Awadhi, Eithar A. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.*, v. 43, n. 1, p. 68-76, 2016.

Huang, Jie; Qin, Qian; Wang, Jinfeng. A Review of Stereolithography: Processes and Systems. *Processes*, v. 8, p. 1138, 2020. DOI: 10.3390/pr8091138.

Jindal, Pankaj; Juneja, Maneet; Bajaj, Deepak; Siena, Francesco L.; Breedon, Philip. Effects of post-curing conditions on mechanical properties of 3D printed clear dental aligners. *Rapid. Prototyp. J.*, v. 26, p. 1337-1344, 2020.

Jindal, Pankaj; Juneja, Maneet; Siena, Francesco L.; Bajaj, Deepak; Breedon, Philip. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.*, v. 156, p. 694-701, 2019.

Jindal, Pankaj; Worcester, Faith; Siena, Francesco L.; Forbes, Cameron; Juneja, Maneet; Breedon, Philip. Mechanical behavior of 3D printed vs. thermoformed clear dental aligner materials under non-linear compressive loading using FEM. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 112, 2020. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104045.

Jedliński, Maciej; Mazur, Marta; Grocholewicz, Katarzyna; Janiszewska-Olszowska, Joanna. 3D Scanners in Orthodontics-Current Knowledge and Future Perspectives-A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.*, v. 18, n. 3, p. 1121, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18031121.

Joda, T.; Brägger, U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: A randomized crossover trial. *Clin. Oral Implant. Res.*, v. 27, p. e185–e189, 2016.

Kravitz, Neal D.; Groth, Christian; Jones, Preston E.; Graham, John W.; Redmond, William R. Intraoral digital scanners. *J. Clin. Orthod.*, v. 48, p. 337-347, 2014.

Lombardo, Luca; Martines, Emiliano; Mazzanti, Valentina; Arreghini, Alessandro; Mollica, Francesco; Siciliani, Giuseppe. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthodontist*, v. 87, p. 11-18, 2017.

Malik, Ovais H.; McMullin, Aodhan; Waring, David T. Invisible orthodontics part 1: invisalign. *J Dent Update*, v. 40, n. 3, p. 203–215, 2013.

McCarty, Matthew C.; Chen, San-Ju; English, Jason D.; Kasper, Fredric K. Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 158, p. 889-897, 2020.

Mehta, Farooq; Mehta, Sejal. Aligners: the rapidly growing trend in orthodontics

around the world. *Indian J Basic Appl Med Res*, v. 3, n. 4, p. 402–409, 2014.

Padmanabhan, Sreelal. Do it yourself orthodontics: alarmist or real? *Journal of Indian Orthodontic Society*, v. 50, p. 137–138, 2016.

Papadopoulou, Areti K.; Cantele, Alessandra; Polychronis, Georgios; Zinelis, Spiros; Eliades, Theodore. Changes in roughness and mechanical properties of Invisalign® appliances after one and two-weeks use. *Materials.*, v. 12, p. 2406, 2019.

Park, Hae-Nyoung; Lim, Yong-Jun; Yi, Woo-Jin; Han, Jung-Suk; Lee, Seung-Pyo. A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, v. 10, n. 1, p. 58-64, 2018.

Putrino, Angelo; Barbato, Enrico; Galluccio, Giovanni. Clear Aligners: Between Evolution and Efficiency-A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health.*, v. 18, n. 6, p. 2870, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18062870.

Quan, H.; Zhang, T.; Xu, H.; Luo, S.; Nie, J.; Zhu, X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials*, v. 5, n. 1, p. 110-115, mar. 2020.

Ryokawa, Hideo; Miyazaki, Yoko; Fujishima, Akemi; Miyazaki, Takeshi; Maki, Kazuyoshi. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontic Waves.*, v. 65, p. 64-71, 2006.

Ryu, Jong-Hoon; Kwon, Jin-Sung; Jiang, Hongbin; Cha, Jung-Yul; Kim, Kil-Mo. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean J Orthod.*, v. 48, p. 316-325, 2018.

Sfondrini, Maria F.; Gandini, Paola; Malfatto, Monica; Di Corato, Maria A.; Scribante, Alessandro. Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *BioMed Res. Int.*, 2018. DOI: 10.1155/2018/4103232.

Shotell, Michael. Overview of Software Options for In-Office Clear Aligners. Disponível em: https://learndentistry.com/software-options-for-in-office-clear-aligners/. Acesso em: 6 jun. 2024.

SoftSmile. SoftSmile. Disponível em: https://softsmile.com/. Acesso em: 6 jun. 2024.

Sousa, Marcelo V.S.; Vasconcelos, Eduardo C.; Janson, Guilherme; Garib, Daniela; Pinzan, Andrea. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, v. 142, p. 269-273, 2012.

SureSmile. SureSmile Orthodontic. Disponível em: https://www.suresmile.com/en-us/. Acesso em: 6 jun. 2024.

Tartaglia, Gianluca M.; Mapelli, Alessandro; Maspero, Claudia; Santaniello, Tommaso; Serafin, Maria; Farronato, Gianluca; Caprioglio, Alberto. Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Current State and Future Possibilities. *Materials (Basel).*, v. 14, n. 7, p. 1799, 2021. DOI: 10.3390/ma14071799.

Tamburrino, Francesco; D'Antò, Vincenzo; Bucci, Rossella; Alessandri-Bonett, Graziella; Barone, Stefania; Razionale, Alessandro V. Mechanical properties of thermoplastic polymers for aligner manufacturing: in vitro study. *Dentistry Journal.*, v. 8, p. 47, 2020.

Trebuoa, P. 3D Scanning Technologies and the 3D Scanning Process. Aniwaa Pte. Ltd., France, 2019.

Tümer, Erhan H.; Erbil, H. Yildirim. Extrusion-Based 3D Printing Applications of PLA Composites: A Review. *Coatings*, v. 11, p. 390, 2021.

uLab Systems. UDesign 6.0. Disponível em: https://www.ulabsystems.com/udesign-6-0/. Acesso em: 6 jun. 2024.

Zhang, Xuejiao; He, Liang; Guo, Haiming; Tian, Jin; Bai, Yuxing; Li, Shun. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. *Kor. J. Orthod.*, v. 45, p. 275-281, 2015.

3Shape. Clear Aligner Studio. Disponível em: https://www.3shape.com/fr/software/clear-aligner-studio. Acesso em: 6 jun. 2024.

3D-Totem. Orthup. Disponível em: https://www.3d-totem.fr/orthup/. Acesso em: 6 jun. 2024.

