



Universidade de Brasília
Faculdade de Ciências da Saúde
Departamento de Odontologia

**Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono: protótipo de
um dispositivo intraoral personalizado planejado com
CAD/CAM**

Yana Gulis

Brasília
2023

Yana Gulis

Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono: protótipo de um dispositivo intraoral personalizado planejado com CAD/CAM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a conclusão do curso de Graduação em Odontologia.

Orientadora: Profa. Dra. Janine Della Valle Araki

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge do Nascimento Faber

Brasília

2023

Yana Gulis

**Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono: protótipo de
um dispositivo intraoral personalizado planejado com
CAD/CAM**

Data da Defesa: 01 de Dezembro de 2023.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Janine Della Valle Araki

Dra. Lívia Versiani

Profa. Dra. Evelyn Mikaela Kogawa

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a minha formação e a concretização deste trabalho de conclusão de curso. Primeiramente, quero agradecer à minha família pelo apoio incondicional ao longo de toda a jornada acadêmica.

À minha mãe, Galina Gulis, que sempre foi um escudo, me protegendo em todas as situações. E seja nos almoços rápidos durante os dias agitados ou nos momentos de tranquilidade, você sempre esteve presente para me nutrir. Àquele que é mais do que um padrasto, meu pai Aleksandr Pinzul. Suas palavras e orientações sempre foram um farol, iluminando meu caminho em direção aos meus objetivos. Agradeço imensamente ao meu pai, Vladislav Gulis, por seu apoio moral, mesmo estando distante. Tenho a convicção de que seu orgulho por mim é genuíno e isso me motiva a seguir adiante com determinação.

Ao meu esposo, Gabriel Moreira. Se não fosse por você, eu não teria alcançado os meus sonhos. Dia e noite, você estava lá para me apoiar, acalmar meu coração, me motivar quando não tive mais força e transformar cada desafio em algo divertido. Agradeço a minha segunda família também, que me me acolheu com tanto amor e

carinho. Não posso esquecer também o grupo Orgutal. Os nossos encontros foram primordiais para a manutenção do meu bom humor.

Um agradecimento especial aos meus orientadores, Profa. Janine Della Valle Araki e Prof. Jorge do Nascimento Faber, pela orientação dedicada, por muita paciência e insights valiosos fornecidos durante todo o processo de pesquisa. Me guiaram na direção certa e contribuíram significativamente para a qualidade deste estudo.

Aos meus colegas de trabalho da Clínica Faber, agradeço por compartilharem suas experiências, enriquecendo as discussões e contribuindo para o meu desenvolvimento. Sentirei falta dos nossos cafés, conversas e confraternizações, cada momento foi único.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão a todos os professores do curso e colegas de turma que de alguma forma estiveram presentes, me oferecendo suporte e torcendo por mim.

SUMÁRIO

Siglas	7
Resumo.....	8
Abstract	9
1. Introdução	10
2. Revisão de Literatura	13
2.1 A Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono	13
2.2 Aparelhos Intraorais	16
2.3 Odontologia Digital	20
3. Materiais e Métodos.....	22
3.1 Materiais	22
3.2 Métodos	29
4. Resultados	42
5. Discussão	47
5.1 Qualidades	47
5.2 Limitações.....	53
6. Conclusão	60
Referências	63
Figuras	70
Apêndice	72

SIGLAS

AAM - Aparelho de Avanço Mandibular

AHI - *Apnea/Hypopnea Index*

CAD/CAM - *Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*

CPAP - *Continuous Positive Airway Pressure*

DTM - Disfunção Temporomandibular

EUA - Estados Unidos da América

MIH - Máxima Intercuspidação Habitual

ODI - *Oxygen Desaturation Index*

PAP - *Positive Airway Pressure*

REM - *Rapid Eye Movement*

SAOS - Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono

SLA - *Stereolithography*

STL - *Standard Triangle Language*

UV - Ultravioleta

RESUMO

A Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono ou SAOS é uma doença crônica. Entretanto, ela se apresenta passível de manejo desde que diagnosticada precocemente e tratada adequadamente. Os aparelhos intraorais de avanço mandibular são um dos modelos terapêuticos mais populares para esse distúrbio do sono, pois controlam quadros de apneia leve a moderada de um modo não-invasivo em adultos. Neste trabalho será apresentado o protótipo de um dispositivo intraoral inovador totalmente confeccionado no fluxo digital, impresso em resina biocompatível em uma única etapa e que proporciona um avanço gradual. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o novo aparelho, detalhando suas características, fabricação e as vantagens sobre outros modelos tradicionais de aparelho intraorais para apneia do sono.

Palavras-chave: Aparelhos Ortodônticos Removíveis, Apneia Obstrutiva do Sono, Avanço Mandibular, CAD-CAM, Fluxo de trabalho, Impressão tridimensional

ABSTRACT

Obstructive Sleep Apnea Syndrome or OSAS is a chronic disease. However, it is possible to manage as long as it is diagnosed early and treated properly. Intraoral mandibular advancement appliances are one of the most popular therapeutic models for this sleep disorder, as they control cases of mild to moderate apnea in a non-invasive way in adults. In this article, the focus will be on a prototype of an innovative device made using full digital workflow and 3D printed with biocompatible resin in a single-step process that offers gradual mandibular advancement. Thus, the objective is to present the new device, detailing its characteristics, fabrication, and advantages over other traditional models of therapeutic intervention for sleep disorders.

Keywords: Removable Orthodontic Appliances, Obstructive Sleep Apnea, Mandibular Advancement, Computer-Aided Design, Workflow, Three-dimensional printing.

1. INTRODUÇÃO

A Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono, ou SAOS, é uma condição muito preocupante que atinge expressiva parcela da população mundial por ter o potencial de gerar sequelas neurocognitivas e cardiovasculares [1]. Além de ser um fator de risco já consolidado para o desenvolvimento de hipertensão arterial, isquemia do miocárdio e acidente vascular cerebral, um estudo recente demonstrou que apneia pode ser um fator de risco também para o câncer [2]. Assim, pode-se suspeitar que as maiores causas de morte globais possuem um íntima relação com a SAOS [3].

A prevalência da apneia do sono é de difícil estimativa, pois é uma doença extremamente subdiagnosticada. Estima-se que aproximadamente um bilhão de pessoas são afetadas por esta condição. Isso significa que uma a cada sete pessoas pode apresentar esta condição, sendo as maiores prevalências, em ordem decrescente, encontradas na China, EUA, Brasil, e Índia [4].

A apnéia ou hipopnéia obstrutiva possui uma natureza crônica, porém de fácil manejo se diagnosticada e tratada precocemente. A doença é caracterizada pela diminuição

ou ausência do fluxo de oxigênio nas vias aéreas durante o sono [5].

De acordo com a severidade do distúrbio do sono vários modelos terapêuticos podem ser recomendados. Outros fatores que devem ser considerados são as comorbidades pré-existentes e a preferência do paciente. As opções de tratamento, da menos invasiva para a mais invasiva são: a) mudanças de hábitos, em casos onde o agravante é obesidade; b) aparelhos intraorais; c) máquinas do tipo PAP (*Positive Airway Pressure*); d) expansão rápida de maxila; e) estimulação do nervo hipoglosso, raramente feita no Brasil devido ao seu custo elevado e; f) cirurgia ortognática com ou sem rinomodelação [6].

O tratamento de SAOS mais comum atualmente é o CPAP (*Continuous Positive Airway Pressure*) que tem sua eficiência comprovada. Entretanto, alguns pacientes demonstram resistência ou insatisfação com seu uso pelo desconforto e incômodo diário que a máquina e máscara proporcionam. Nesse quesito, os aparelhos intraorais apresentam suas vantagens como terapia alternativa não-invasiva [7].

Dentro dos tipos de aparelhos intraorais de avanço mandibular ou AAMs existem diferenças principalmente na

sua fabricação. Segundo uma revisão sistemática atual, dentre os dispositivos pré-fabricados em laboratório e os aparelhos que passam por titulação, ou seja, ajustes graduais até atingir uma máxima posição terapêuticas, os últimos demonstram uma *performance* superior na redução nos índices de eventos de apneia [8]. Desse modo, sugere-se que um dispositivo personalizado ou ajustável seria a alternativa ideal para o tratamento de SAOS. Ainda mais considerando-se a nova era da Odontologia que tem como destaque o fluxo digital, a prototipagem 3D e os novos equipamentos de alta tecnologia como os scanners intraorais, impressoras e fresadoras de CAD/CAM.

O fluxo digital introduziu uma possibilidade inédita de confeccionar aparelhos de apnéia do sono individualizados, com precisão, sem moldagem, com economia de tempo de cadeira para o profissional e para o paciente [9].

Logo, o objetivo deste artigo é apresentar um novo AAM totalmente fabricado no CAD/CAM e impresso em resina biocompatível, sem nenhum componente de metal. O aparelho intraoral que será apresentado é um protótipo que possui um *design* único e seus detalhes serão ilustrado com fotografias e imagens tridimensionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Síndrome da Apneia Obstutiva do Sono

A SAOS é uma doença altamente subdiagnosticada por não apresentar sintomas graves, como dor, por exemplo, assim a busca por assistência é normalmente postergada e os dados epidemiológicos se tornam imprecisos. A faixa etária mais acometida é de adultos entre 30 e 69 anos, no entanto há casos de apneia obstrutiva em crianças e adolescentes [10]. Há maior incidência em idosos e obesos, com predominância no sexo masculino, e pode ter correlação com etnias que apresentam um perfil craniofacial mais convexo [11].

Os sinais e sintomas mais frequentes de pessoas com apneia são ronco, catatrenia, microdespertares, sonolência diurna, fadiga, sono fragmentado e não reparador [12]. Para sua avaliação subjetiva, as escalas de Sonolência e Ronco de Stanford, de Sonolência Diurna de Epworth, o questionário de Berlim e o questionário STOP-BANG podem ser aplicados. O paciente preenche o instrumento escolhido pelo clínico de acordo com suas características e recebe um score que indica o nível de acometimento do seu distúrbio do sono [13].

Durante o exame físico existem alguns parâmetros que devem ser notados: peso e altura, circunferência do pescoço, hipoplasia da maxila, retroposição da mandíbula, oclusão dentária (principalmente Classe II), tamanho das tonsilas e do tecido mole da língua e da orofaringe [14]. Isso se deve ao fato que os fatores que influenciam na SAOS são: constrição anatômica das vias respiratórias por maxila atrésica, mandíbula retruída ou aumento de tecido mole, obesidade, tônus muscular deficiente ou problemas no sistema nervoso central [15].

Para o diagnóstico da SAOS utiliza-se o exame de polissonografia, que pode ser feita em clínicas de medicina do sono ou em domicílio. Um aparelho digital mede as dessaturações de oxigênio ou índice ODI (*Oxygen Desaturation Index*) durante a noite. O número e os intervalos de dessaturação, como a porcentagem de oxigênio que o paciente obtém, são registrados num dispositivo e agrupados para a criação de tabelas. O tempo com a saturação de O₂ abaixo de 90% é um dos fatores mais relevantes da avaliação. Além disso, é observada a arquitetura do sono - o tempo que o paciente permanece nos estádios N1, N2, N3 e REM e a sua cronologia [16].

Os dados das tabelas e principalmente o índice AHI (*Apnea/Hipopnea Index*) são usados para classificar a

SAOS em graus. Se houver menos de 5 episódios de dessaturação, com níveis abaixo de 90% de oxigênio, o paciente possui um sono normal; entre 5 e 15 episódios é considerado grau leve de apnéia; entre 15 e 30 dessaturações por noite, grau moderado; mais do que 30 episódios de apnéia ou hipopnéia na mesma noite caracteriza o grau de SAOS como severo [17].

Outros parâmetros analisados durante o exame de polissonografia incluem: frequência cardíaca, tempo e eficiência do sono, análise de ronco e movimentações durante a noite [17].

Dependendo do grau da apneia do sono, vários tratamentos podem ser recomendados. As opções mais frequentemente ofertadas são: exercício físico e dieta, aparelhos intraorais, máquinas do tipo PAP (*Positive Airway Pressure*), expansão rápida de maxila, estimulação do nervo hipoglosso e cirurgia ortognática [18].

Existem algumas recomendações gerais, além das terapias convencionais que são bastante benéficas. Elas são: não consumir bebidas alcóolicas até 4 horas antes de dormir e evitar o uso de sedativos, pois essas substâncias são depressoras do sistema nervoso central e atrapalham o ciclo natural do sono [19].

Atualmente, o CPAP (*Continuous Positive Airway Pressure*) é o tratamento mais validado na maioria dos casos de apneia, portanto diversos pacientes não aderem ao seu uso pela inconveniência do ruído da máquina e o desconforto que a máscara oferece. Por essa razão, os dispositivos intraorais se tornam uma preferência [15].

2.2 Os Aparelhos Intraorais

Os aparelhos intraorais de avanço mandibular ou AAMs são compactos, confortáveis, estéticos, de fácil manuseio e transporte e podem resolver casos de apneia da mesma complexidade, de grau leve à moderado que o CPAP [20]. Além disso, o nível de adesão do paciente ao uso do aparelho é excelente, o que influencia diretamente na sua eficácia, diminuindo as dessaturações de oxigênio [21]. Embora exista um período inicial de alguns meses de difícil adaptação, após essa fase há uma menor desistência em longo prazo, se comparado às máquinas PAP, sendo de em torno de 10-20% contra 60% dos pacientes [22].

Apesar dos benefícios da terapia com aparelhos intraorais para apneia, há alguns efeitos adversos leves, porém frequentes, que precisam ser acompanhados e minimizados como sialorreia, disfunção temporomandibular (DTM), alteração da oclusão e movimentação dentária [23].

Além disso, existem alguns impedimentos para a instalação de dispositivos intraorais como edentulismo parcial ou total, DTM pré-estabelecida, doença periodontal, aparelhos ortodônticos fixos e pacientes que ainda necessitam de adequação do meio bucal, como restaurações defeituosas, implantes sem coroas, entre outros [24].

Tradicionalmente, os aparelhos intraorais para apneia do sono se classificam em dois grandes grupos: retentores linguais, que impedem o músculo genioglosso de obstruir as vias aéreas, e os reposicionadores mandibulares, que atuam com o avanço da mandíbula. O segundo ainda se subdivide em tipos: monobloco ou fixo e bibloco – duas peças separadas que se articulam com um mecanismo metálico [25].

O primeiro aparelho funciona basicamente como um estabilizador lingual, sendo pouco utilizado na rotina clínica. Podem se apresentar como dispositivos similares a “chupetas”, haja visto que eles mantêm a língua em uma posição anteriorizada através de um bulbo de plástico maleável por pressão negativa. Ou também ser placas acrílicas com fio ortodôntico num formato de U que controlam a língua, empurrando-a para baixo e para frente. Apesar de obterem resultados positivos no tratamento da apneia, existem poucos profissionais que optam por essa

alternativa por serem pouco disseminados no mercado e desconfortáveis no seu uso [26].

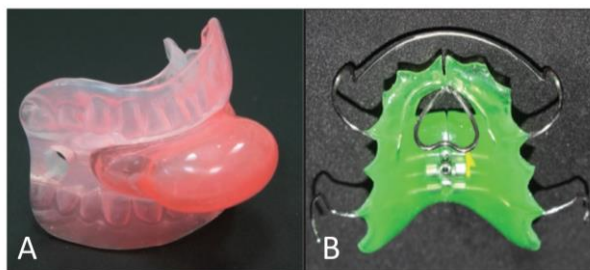


Figura 1: A) Dispositivo de estabilização lingual à vácuo; B) Retentor lingual de acrílico e fio ortodôntico. Fonte: A) Lazard, 2009 [1]; B) Feitoza, 2020 [2].

O segundo tipo são os dispositivos de avanço mandibular, que possuem uma grande variedade de desenhos, composições e são mais utilizados. Podem ser confeccionados após uma moldagem simples com material elástico e fabricados em resina acrílica autopolimerizável, acrílico termoplastificável ou acetato, sendo todos usualmente disponíveis em laboratórios de próteses [27].

Os AAMs denominados de monobloco são considerados fixos, pois apresentam uma taxa de avanço mandibular predeterminada pelo laboratório de aproximadamente 60% da protrusão máxima. Isso

impossibilita um reposicionamento progressivo intermaxilar, que poderia ser benéfico em casos de SAOS [28].

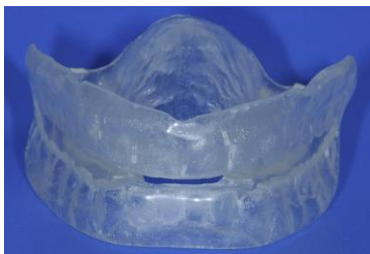


Figura 2: Aparelho intraoral monobloco. Fonte: NG, 2019 [3].

Os aparelhos classificados como bibloco ou duobloco são passíveis de titulação, ou seja, pode-se alterar a protrusão de acordo com a evolução do tratamento [29]. Um dispositivo personalizável com ajustes periódicos garante um alto padrão de manejo dos sinais e sintomas clínicos e dos efeitos adversos oriundos do seu uso contínuo [30].

Os dispositivos de duas placas são modificáveis em antero-posição da mandíbula, devido a um mecanismo metálico parecido com o de um expansor maxilar. Quando o parafuso é ativado, a placa inferior avança em relação a placa superior. Também há possibilidade de movimentos latero-laterais pela inclusão de barras transversais no corpo dos guias, conferindo mais conforto para o paciente [31].

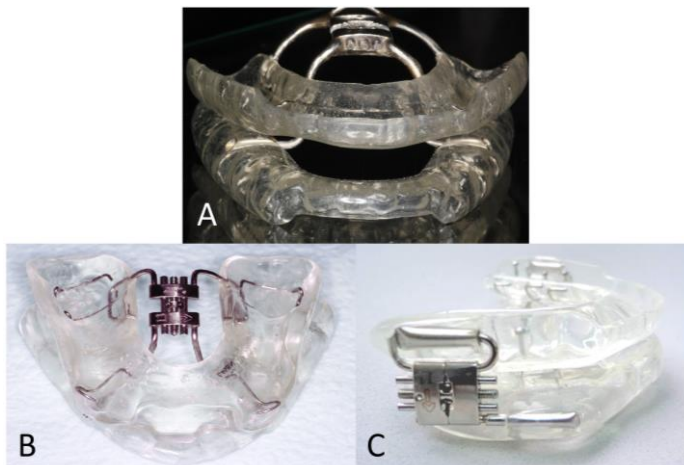


Figura 3: A) Aparelho de apneia confeccionado na Clínica Faber; B) Aparelho reposicionador mandibular bibloco, modelo Klearway; C) Aparelho de avanço mandibular bibloco, modelo PMP. Fonte: A) Faber, 2023; B) Chaves Junior, 2017 [4]; C) Guimarães, 2014 [5].

Ambos os AAMs, monobloco e duobloco, descritos anteriormente são fabricados em laboratórios através do uso de modelos de gesso, similarmente ao processo de confecção de aparelhos ortodônticos.

2.3 A Odontologia Digital

Inicialmente, a emergência do Desenho Assistido por Computador (CAD), concomitantemente com a da Manufatura Assistida por Computador (CAM), teve o seu marco inaugural na década de 1960, com o objetivo de proporcionar assistência às indústrias aeronáuticas e

automobilísticas. Transcorridos dez anos, essa grande inovação passou a ser aplicada por um pioneiro, um cirurgião dentista de origem francesa, que mediante uma fresadora controlada numericamente fabricava coroas unitárias. Assim, a integração do sistema CAD/CAM na rotina dos profissionais da Odontologia está presente há mais de 35 anos [32].

A fabricação computadorizada encontra-se atualmente empregada em uma diversidade de áreas da Odontologia, abarcando disciplinas como Dentística, Prótese, Cirurgia Bucomaxilofacial, Implantodontia e Ortodontia. Próteses aditivas, totais, parciais e unitárias, todas atualmente podem ser fresadas em laboratórios providas desse avanço tecnológico, independente do seu suporte ser mucoso, dentário ou sobre implantes. Ademais, guias cirúrgicos, alinhadores ortodônticos, aparelhos de contenção e placas de bruxismo já são rotineiramente confeccionados dentro dos próprios consultórios utilizando impressoras 3D, classificando-os como dispositivos da modalidade *in-office* [33].

Entretanto, existem alguns obstáculos para poder usufruir dessa nova era tecnológica, como o valor dos equipamentos e a capacitação técnica dos profissionais [34]. Contudo, o custo-benefício é favorável considerando-

se que o aparelho pode ter uma durabilidade estimada entre 5 à 10 anos [35].

A disseminação da odontologia digital favoreceu o surgimento da ideia de se fabricar um aparelho intraoral para SAOS personalizado. Com a introdução do *scanner* intraoral, a moldagem tradicional pôde ser substituída. O escaneamento é mais preciso, mais cômodo e pode ser arquivado como registro do paciente, em longo prazo. Além disso, a titulação de diversos aparelhos pode ser realizada durante o escaneamento no próprio paciente, garantindo um resultado mais fiel [36]. Por fim, os *softwares* que são utilizados para a confecção dos dispositivos intraorais, apesar de necessitarem de capacitação, são de fácil manuseio [34].

1. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O aparelho novo que será apresentado foi criado seguindo etapas semelhantes às da fabricação de alinhadores *in-office* ou de placas mio-relaxantes [37]. O protótipo é composto por duas placas oclusais básicas, feitas a partir do modelo digital, porém, para o aparelho intraoral para SAOS utiliza-se uma segunda mordida, com

a mandíbula protruída. Foi elaborado um encaixe intermaxilar único, para evitar o uso de componentes adicionais metálicos, visando proporcionar conforto, evitar alergias e reduzir o peso do aparelho. Assim, o protótipo do aparelho intraoral pretende ser mais discreto, mais ergonômico e possuir menos peças vulneráveis à fratura. Ainda, permite realizar o ajuste progressivo da mandíbula, já que são impressas múltiplas placas superiores, de acordo com a necessidade de avanço do paciente.

Para confeccionar o protótipo do aparelho intraoral para o tratamento da apneia do sono, são necessários: (1) *scanner* intraoral, (2) *precision fork*, (3) computador, (4) *software* de prototipagem, (5) impressora 3D e seu aplicativo (6) resinas biocompatíveis, (7) máquina de lavagem, (8) álcool isopropílico, (9) cabine de cura e (10) selante de próteses.

O *scanner* intraoral utilizado foi o iTero® (Element 2, Align Technology, Inc., Tempe, Arizona, EUA), por causa da sua distribuição ampla, haja vista que é fabricado pela mesma empresa que fabrica os alinhadores do sistema Invisalign®. Os seus componentes incluem: tela, scanner intrabucal e ponteiros descartáveis [38]. São registrados os arcos superior, inferior e a oclusão do paciente como imagens tridimensionais, pelo sistema CAD/CAM.



Figura 4: iTero Element 2. Fonte: ITERO, 2023 [6].

O *precision fork* é um garfo de registro intermaxilar feito para estabilizar a mordida do paciente em uma posição protrusiva durante o escaneamento. É de fabricação própria e apresenta: haste, bifurcação que cria uma janela e blocos que são usados como *stop* para os dentes. O cálculo para alcançar a protrusão ideal do paciente é feita com base nas graduações do garfo. Estas servem como uma espécie de régua, similar ao garfo *George Gauge* que é tradicionalmente utilizado. O nível de avanço mandibular é uma medida variável, definida pela resiliência da ATM do paciente. Assim, a tendência é estabelecer uma anteroposição entre 30% à 60% da protrusão máxima mandibular.



Figura 5: Garfo de fabricação própria *precision fork*. Fonte: Faber, 2023.

O computador de escolha deve possuir um alto poder de processamento, para que possam ser realizadas as operações requisitadas pelo *software*. As versões Core i5 e superiores são suficientes. Caso contrário, pode ocorrer uma sobrecarga pelo *software*, com risco de apagar o seu progresso durante a utilização de uma ferramenta que demanda mais potência. Além disso, o sistema operacional compatível com os programas que serão utilizados é o Windows 7 ou versões mais atuais.

O *software* de prototipagem pode ser qualquer um de modelagem tridimensional: ExoCAD[®] (Versão Flex, Align Technology, Darmstadt, Germany); 3dsMAX[®] (Versão Theseus, Autodesk, Inc. San Fransisco, EUA), 3-Matic[®] (Versão 17.0, Materialise, Lovaina, Bélgica), Meshmixer[®] (Versão 3.5, Autodesk, Inc. San Fransisco, EUA) e Blender[®] (Versão 3.5.1, Blender Foundation, Amsterdã, Holanda). O Meshmixer[®] e Blender[®] ambos são opções gratuitas e podem ser utilizadas para confeccionar o protótipo da mesma maneira que os *softwares* que requerem licença.

A impressora 3D utilizada foi a Form 2® (Formlabs, Massachusetts, EUA). Sua tecnologia de estereolitografia (SLA) cria objetos, camada por camada, proporcionando um acabamento superficial ultra-fino. A vantagem desse método de impressão está na qualidade do modelo obtido com maiores detalhamento e resolução. O corpo da impressora possui um tamanho menor do que o usual, chamado de *desktop*, tornando-o mais accesível. Seu *software*, denominado de PreForm® (Formlabs, Massachusetts, EUA), viabiliza o processamento dos objetos e o seu preparo para a impressão [39].



Figura 6: Impressora tridimensional Form 2®. Fonte: FORMLABS, 2023 [7].

A resina biocompatível líquida e fotossensível utilizada na impressora do tipo SLA foi a Cosmos Splint® (Yller, Rio Grande do Sul, Brasil) na cor transparente. Ela apresenta baixa viscosidade e alta velocidade de polimerização [40].

Outra alternativa que possui características similares é o BioSplint do Prizma® (Makertech Labs, São Paulo, Brasil) [41]. Ambas foram testados atingindo resultados positivos.



Figura 7: Resinas biocompatíveis Cosmos Splint® (A) e Biosplint® (B).
Fonte: YLLER, 2023 [8]; MAKERTECHLABS, 2023 [9].

A máquina de lavagem Form Wash® (Formlabs, Massachusetts, EUA) tem como objetivo remover material residual da superfície do dispositivo. É composto por um recipiente, onde é despejado o álcool isopropílico e um cesto, onde o aparelho é inserido. São realizados movimentos oscilatórios para efetuar a sua limpeza. Possui uma tela com cronômetro para estabelecer o tempo necessário para o ciclo [42].



Figura 8: Lavadora Form Wash®. Fonte: FORMLABS, 2023 [10].

A cabine de fotopolimerização escolhida foi a Wash and Cure 2.0® (AnyCubic, Guangdong, China). Ela possui lâmpadas UV no seu interior e uma plataforma giratória para o aparelho ser posicionado [43]. O tempo de polimerização depende do tipo de resina utilizada e pode ser conferido nos guias de instruções dos fabricantes.



Figura 9: Cabine de fotopolimerização Wash and Cure 2.0®. Fonte: ANYCUBIC, 2023 [11].

O selante de próteses utilizado foi o Seal do Prizma[®] (Makertech Labs, São Paulo, Brasil) Geralmente, pode ser qualquer *glaze* ou verniz fotopolimizável à base de metacrilato. Ele age criando uma barreira na superfície do aparelho deixando-o mais liso e brilhoso [44].



Figura 10: Selante Seal do Prizma[®]. Fonte: MAKERTECHLABS, 2023 [12].

3.2 Métodos

A confecção do AAM inclui as seguintes etapas: (1) escaneamento com dois registros de mordida, (2) modelagem digital, (3) impressão 3D, (4) lavagem, (5) fotopolimerização e (6) aplicação de selante.

O escaneamento é realizado com o paciente em decúbito dorsal, com a cadeira na altura de trabalho adequado para o profissional e para o alcance do scanner. São inseridos os dados do paciente diretamente na tela do iTero[®] e é iniciada uma nova digitalização, especificando o

registro de duas mordidas. O processo começa com a secagem da superfície dos dentes com um jato de ar para remover saliva, evitando a formação de bolhas na imagem tridimensional. Uma ponteira descartável é acoplada ao bastão do scanner, composta por uma ponta emissora de luz e um corpo com botão de ligar e desligar. A ponteira com luz intermitente é guiada ao longo do arco dentário, começando pela face oclusal dos molares de um lado, acompanhando o aparecimento da imagem na tela e avançando até o lado contrário. Em seguida, são escaneadas as faces lingual ou palatina e vestibular. Este procedimento é realizado para ambos os arcos dentários, separadamente.

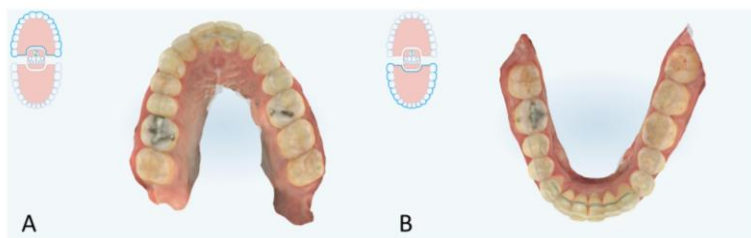


Figura 11: Escaneamento dos arcos superior (A) e inferior (B).

Posteriormente, é feito o primeiro registro de mordida do paciente em posição de máxima intercuspidação habitual (MIH); os molares são escaneados pela vestibular para adquirir a cópia da oclusão. Após esse momento, o

precision fork é utilizado para fazer o segundo registro de mordida da mandíbula em protrusão.

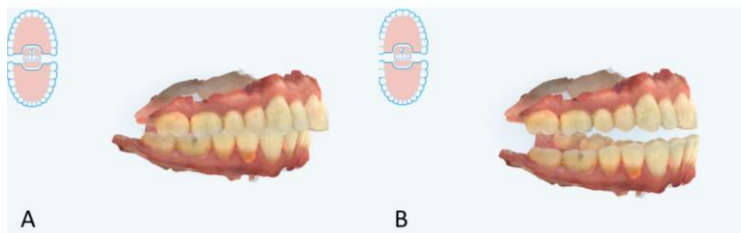


Figura 12: Escaneamento com duas mordidas em MIH (A) e em protrusão (B).

O *precision fork* é inserido na boca e a mandíbula do paciente é manipulada até atingir em média 40% da posição máxima de protrusão. Os *stops* do garfo facilitam a fixação dos dentes do paciente nessa posição e a haste é usada para estabilizar o garfo durante o escaneamento dos dentes posteriores para não alterar a imagem durante sua captura.



Figura 13: Utilização do garfo *precision fork* durante o escaneamento.

Subsequentemente, todos os arquivos são enviados em formato STL (*Standard Triangle Language*) para a nuvem do computador onde será dado prosseguimento ao processo de fabricação digital do AAM.

A modelagem tridimensional do aparelho é feita usando um programa de prototipagem que possui as ferramentas de criação de placas ou *splints*. Após as duas placas serem confeccionadas a partir dos modelos em MIH do paciente, são adicionados os encaixes específicos nos modelos do segundo registro, onde a mandíbula está protruída. Assim, os encaixes estarão em concordância com a titulação inicial feita no momento do escaneamento. Os encaixes são instalados usando o arco superior como referência – sua posição deve ficar entre os pré-molares e o primeiro molar. O encaixe inferior será posicionado baseado na localização do encaixe superior. Logo depois, são feitos alguns ajustes para deixar o aparelho mais anatômico e arredondado. E por fim, são introduzidos grampos na cervical dos dentes com formatos diferentes de acordo com a anatomia dentária do paciente. Eles podem ser esféricos, elípticos, em forma de gota ou losangulares. Os protocolos para a confecção tanto da placa superior como inferior são semelhantes. As principais etapas são descritas a seguir:

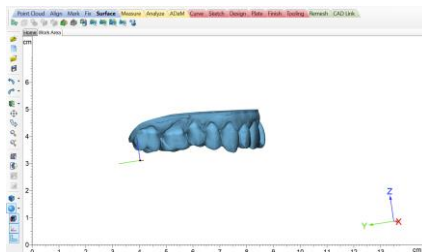


Figura 14: Modelo do arco superior.

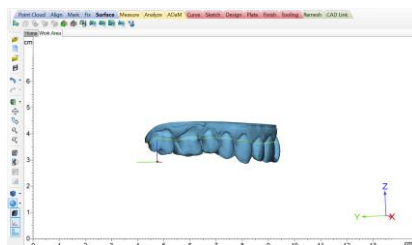


Figura 15: Arco superior com separação de duas superfícies pelo traçado em amarelo. A superfície que abrange os dentes é selecionada para criar o splint e a superfície composta pela base do modelo é descartada.

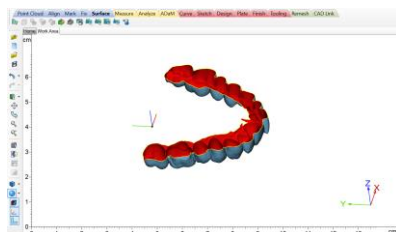


Figura 16: Vista interna do splint oco criado por meio da superfície inferior gerada no passo anterior.

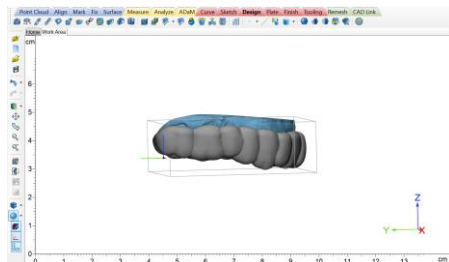


Figura 17: Arco superior com aumento do volume do splint.

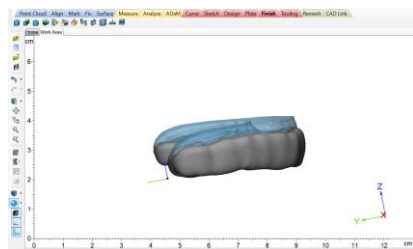


Figura 18: Início do processo de arredondamento e aperfeiçoamento do formato do splint superior.

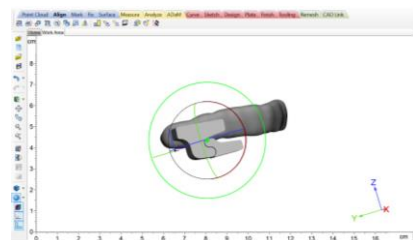


Figura 19: Instalação dos encaixes no arco superior.

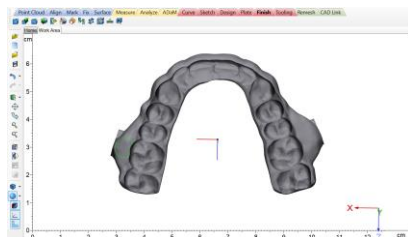


Figura 20: Espelhamento dos encaixes para o lado oposto e alisamento de ângulos vivos.

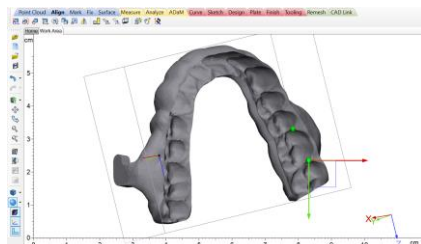


Figura 21: Inserção de grampos esféricos nas cervicais dos molares.

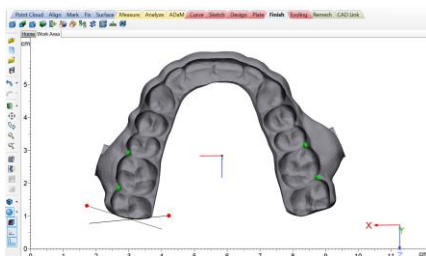


Figura 22: Recorte do aparelho no segundo molar.

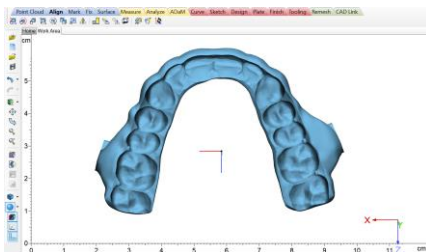


Figura 23: Resultado após a união de todos os elementos.

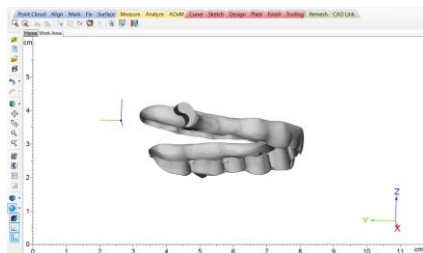


Figura 24: Placa inferior criada seguindo os mesmos passos especificados previamente.

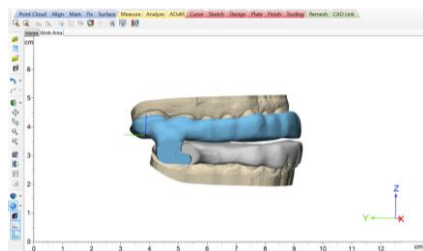


Figura 25: Dispositivo articulado nos modelos escaneados.

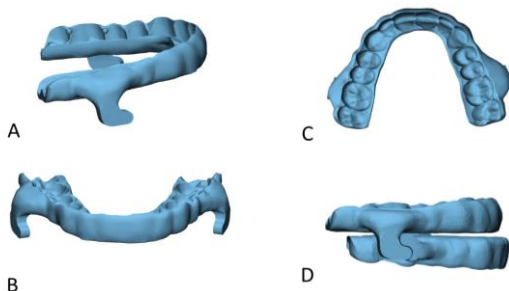


Figura 26: A) Vista lateral do protótipo; B) Vista frontal do protótipo; C) Vista oclusal do protótipo; D) Aparelho encaixado.

A impressão 3D é iniciada com o auxílio do software PreForm®, onde os objetos são carregados em formato STL para processamento. Após o conserto da malha dos dispositivos e o seu preparo, onde são construídos hastes de suporte, o aparelho será mandado para a impressora FormLabs 2®. O ângulo de inclinação é específico, em torno de 45° , para evitar que os suportes sejam criados na parte interna dos aparelhos.

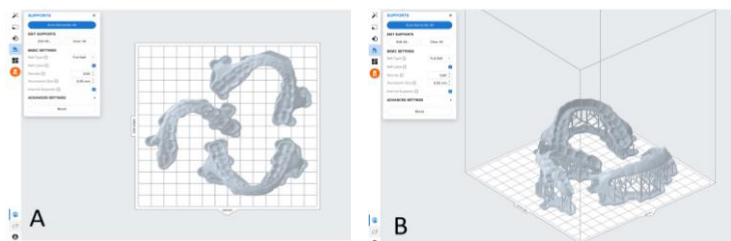


Figura 27: A) Aparelhos sendo processados no software PreForm®; B) Hastes de suporte criadas em uma placa inferior e duas placas superiores com níveis de avanço diferentes.

Para efetuar a impressão, os tanques ou cartuchos precisam estar repletos de resina biocompatível transparente e os componentes, como a plataforma de construção, limpos e no seu devido lugar. Após ter passado por esse checklist, o botão de “print now” deve ser acionado. O tempo de execução da tarefa será projetada na tela. Para o protótipo ser elaborado leva-se aproximadamente 2 horas.

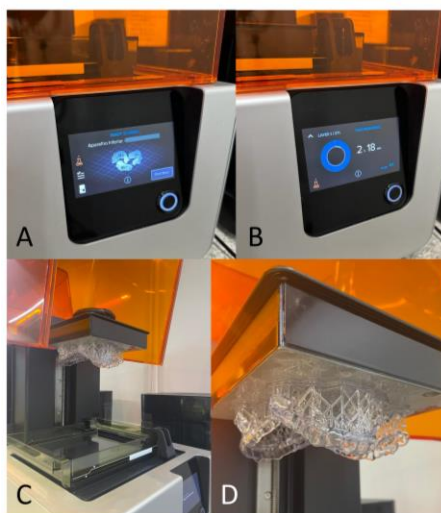


Figura 28: Dispositivos sendo impressos no Form 2[®]. A) Tela com os aparelhos prontos para impressão; B) Tela com o tempo de impressão; C) Aparelhos impressos; D) *Close-up* dos aparelhos.

Para remover o objeto já finalizado da plataforma, indica-se utilizar espátulas. Os instrumentos demonstrados

na figura 29B são deslizados pela base dos aparelhos para descolá-los da placa de construção. É importante agir com cautela, pois corre o risco de danificar o aparelho, riscando sua superfície.



Figura 29: A) AAMs na plataforma de construção; B) Espátulas utilizadas para remover os aparelhos; C) Retirada dos aparelhos da plataforma.

Após essa etapa, sugere-se a sua limpeza com álcool isopropílico dentro de um cesto de lavagem, onde o ciclo tem duração em torno de 10-20 minutos. A agitação dentro da máquina enxagua o aparelho e retira depósitos de resina não polimerizada.



Figura 30: Aparelhos na máquina de lavagem Form Wash®

As hastes de sustentação podem ser removidas delicadamente com alicates, sem danificar a estrutura do aparelho.



Figura 31: A) Hastes do aparelho sendo cortadas; B) Alicates utilizados para a remoção das hastes de suporte.

A cura final da resina ocorre após a sua exposição a luz UV. O tempo e temperatura são variáveis importantes para que o material atinja suas propriedades mecânicas ideais. O aparelho é colocado na cabine de cura durante

aproximadamente 8 minutos. Quando retirado, é inspeccionado para confirmar o seu aspecto firme e sem resíduos pegajosos [45].



Figura 32: Dispositivos na cabine de cura Wash and Cure 2.0®

Para concluir, o selante é aplicado com um pincel em uma camada fina sobre a superfície externa do aparelho, assim corrigindo qualquer rugosidade ou imperfeição. O aparelho se torna mais liso e confortável e o paciente terá mais facilidade na sua higienização. Não se deve colocar o selante na superfície interna, pois pode alterar a retenção do aparelho.

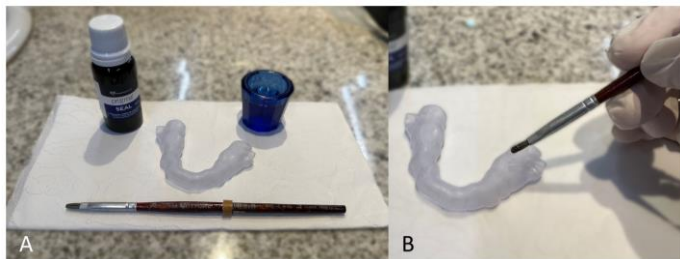


Figura 33: A) Materiais utilizados para a aplicação do selante; B) Aparelho recebendo uma demão do Seal®.

4. RESULTADOS



Figura 34: Protótipo impresso e finalizado.

Após a realização de todos as etapas descritas nos métodos, obteve-se o protótipo de aparelho para SAOS com as seguintes características:

Extensão

O dispositivo para apneia se estende verticalmente até o final do terço médio dos dentes. A parte cervical é deliberadamente excluída, a fim de evitar a retenção excessiva do aparelho aos espaços interproximais. A linha de delimitação é caracterizada por uma suave curvatura que segue a anatomia dentária, evitando linhas retas e arestas que possam resultar em desconforto.

Alívio

As placas apresentam um espaço de alívio com dimensões entre 0,25 mm e 0,28 mm, concebido com o intuito de garantir a retenção adequada, sem submeter os dentes a forças excessivas. O dispositivo deve ser ajustado de modo a encaixar nos arcos dentários sem gerar sensação de apertamento ao paciente, todavia, também deve ser acomodado sem apresentar folga, assegurando uma posição estável.

Gap

Entre a placa superior e a inferior é estabelecido um gap de 2 a 3 mm, destinado a criar espaço durante o procedimento de inserção dos encaixes. Seu propósito é de minimizar o contato direto entre as superfícies das placas, assim a

conexão entre ambas ocorre exclusivamente por meio dos encaixes. Dessa maneira, asseguramos um ajuste adequado e um alinhamento preciso.

Undercut

O eixo de inserção é estabelecido por meio da aplicação do sistema global de coordenadas, definindo um ângulo de 110 graus para a placa superior e -110 graus para a placa inferior, em relação ao eixo Z. Dessa maneira, é assegurada uma abordagem singular de inserção ao dispositivo, com a finalidade de garantir uma instalação padronizada.

Design

Os encaixes foram projetados com a intenção de se assemelhar ao símbolo “*ying-yang*”. Seu *design* único em semicírculo com um diâmetro de 4mm, confere uma função distintiva e uma identidade singular ao aparelho.

Alinhamento

O alinhamento dos encaixes é determinado em conformidade com as dimensões das placas criadas e o espaço presente entre as mesmas. O encaixe superior é localizado na porção mais posterior do corpo do aparelho,

visando possibilitar avanços futuros com a impressão de novas placas superiores com o encaixe situado de forma mais anterior.

Trim

Com o intuito de viabilizar movimentos latero-laterais, é incorporado um espaço de 3,5 mm entre o encaixe da placa superior e o encaixe da placa inferior. A introdução deste espaço resulta na formação de uma margem que possibilita a realização desses movimentos transversais, contribuindo para a sensação de conforto do paciente.

Clasps

Os grampos, de configuração esférica neste caso, apresentam um diâmetro aproximado de 1,75 mm e são posicionados circundando os primeiros ou segundos molares, variando de acordo com a existência de dentes de siso.

Smooth

No processo de incorporação de qualquer elemento, é comumente realizado um procedimento de alisamento superficial durante a etapa de modelagem tridimensional. Tal abordagem visa mitigar o potencial desconforto ao

paciente, uma vez que quaisquer ângulos agudos podem ser fonte de incômodo. Todos os componentes são submetidos a esse processo de arredondamento, com exceção do desenho do encaixe e da região interna.

Recorte

Os dentes posteriores finais, compreendendo os segundos ou terceiros molares, são seccionados ao longo de sua largura méso-distal, até a sua metade. Essa prática tem como propósito contribuir para o posicionamento apropriado do aparelho intraoral e simplificar sua inserção na cavidade oral.

Transparência

Durante esta fase de desenvolvimento, foi empregada resina transparente com o intuito de facilitar a observação da conformação do aparelho e sua inserção na cavidade bucal. Em estágios subsequentes, a possibilidade de escolha de cores será disponibilizada ao paciente.

Textura superficial

Após a fase de impressão e subsequente remoção das hastes de suporte, observam-se ocasionalmente pequenas imperfeições na superfície do aparelho. Tais defeitos são

removidos mediante o processo de lixamento e polimento. Os materiais como, lixa d'água e escova de feltro, são empregadas a fim de prevenir porosidades que possam propiciar o acúmulo de resíduos. Após esta etapa de acabamento, uma camada fina do agente Seal® é aplicada, conferindo um leve brilho ao dispositivo.

5. DISCUSSÃO

Em virtude da inexistência de aparelhos para apneia confeccionados por meio de CAD/CAM, esta discussão será baseada em alinhadores, contenções, placas oclusais e protetores bucais produzidos através de impressão tridimensional. Estes se demonstram como referência apropriada para nossa análise, excluindo-se, naturalmente, a discrepância do encaixe específico do protótipo para SAOS. Para uma abordagem mais coerente, trataremos dos tópicos de acordo com a sua sequência cronológica no processo de idealização do aparelho.

5.1 Qualidades

Diversas vantagens estão intrinsecamente associadas à produção de dispositivos personalizados por

meio da impressão 3D. A seguir, apresentaremos alguns dos aspectos que se destacam:

Tempo

Os processos de produção do aparelho para apneia exibem notáveis similaridades com a de alinhadores *in-office*. Em relação ao tempo gasto, tanto no atendimento clínico quanto na etapa de fabricação, emerge uma vantagem se comparado ao processo manual. Caso se opte pelo caminho tradicional, os dispositivos são entregues somente após algumas semanas. Em contrapartida, ao se adotar o fluxo digital, o intervalo usado para o escaneamento gira em torno de 15 minutos, enquanto a etapa de modelagem possui uma duração aproximada de 30-60 minutos, variando do nível de treinamento do profissional e da dificuldade anatômica do paciente. Após essa etapa, a impressão e o pós-processamento consomem um período total de 3 horas [46]. Porém, existe uma possibilidade de otimização, visto que na plataforma de construção há como acomodar múltiplos aparelhos. Dessa forma, se necessário, o paciente pode receber o dispositivo dentro de 24 horas.

Custo

As impressoras 3D possuem vários pontos positivos de grande relevância, particularmente no desenvolvimento de protótipos, como a facilidade de replicação dos objetos e o baixo custo. Os produtos são normalmente encomendados em configurações exclusivas personalizadas e geralmente em quantidades limitadas, o que propicia um aproveitamento vantajoso [47]. Além disso, em comparação com a confecção laboratorial ou a fabricação CAD/CAM por meio de fresadoras, os aparelhos impressos em resina também são menos dispendiosos em longo prazo [48]. Adicionalmente, a tecnologia aditiva é mais sustentável e gera significativamente menos resíduos do que os processos subtrativos e de termoformagem. Isso torna o processo ecologicamente mais favorável [49].

Escaneamento

As impressões convencionais que resultam em modelos de gesso envolvem procedimentos clínicos e laboratoriais que podem apresentar erros cumulativos. Dessa forma, já se constatou que o processo de escaneamento produz cópias mais fiéis do que o método tradicional de moldagem [50]. Todavia, dentre os dispositivos de escaneamento existentes, intraorais e extraorais de fabricantes distintos,

há um questionamento se algum desses apresenta vantagens sobre os demais. Segundo um estudo recente sobre precisão, um dos requisitos de um *scanner* óptico é criar uma topografia de superfície reproduzível para o uso dos dados. Considera-se que quanto mais pontos de triangulação produzirem, mais detalhada será a geometria. Dos sistemas de *scanner* avaliados, o iTero® exibiu o maior número de pontos de triangulação, assim confirmando-o como uma ótima escolha para a finalidade proposta [51].

Impressão

Uma revisão sistemática avaliou e comparou a acurácia e precisão dos modelos de impressoras tridimensionais presentes no mercado hoje. Sete tecnologias de impressão foram analisadas: estereolitografia (SLA), processamento digital de luz (DLP), modelagem de deposição fundida/fabricação de filamentos fundidos (FDM/FFF), MultiJet, PolyJet, produção contínua de interface líquida (CLIP) e tecnologia *display* de cristal líquido (LCD). A veracidade ou acurácia refere-se ao grau de proximidade de um modelo impresso com as dimensões da sua versão digital. Exatidão ou precisão é a repetibilidade ou confiabilidade deste processo. A impressora de SLA se destacou dentre as outras, pela exatidão suficiente para

propósitos protéticos e ortodônticos. Este fato sugere que em situações que exigem menos detalhamento, como no caso do aparelho para SAOS, entregaria um bom resultado [52].

Instalação

Um estudo sobre placas oclusais para o tratamento de bruxismo, comparou a instalação dos aparelhos feitos em laboratório, obtidos por fresagem e impressos. Chegou-se a conclusão de que o tempo médio de ajuste na boca do paciente foi significativamente mais baixa para os *splints* impressos [53]. Levando-se em consideração o protótipo para apneia, o encaixe intrabucal foi melhor e necessitou de menos ajustes do que o aparelho convencional fabricado em laboratório. A versão fresada do dispositivo para SAOS nunca foi produzida, por isso não sabemos das suas características. Possivelmente, no futuro seria algo interessante de se explorar.

Conforto

Os requisitos para os materiais que são utilizados na impressão tridimensional para uso *in-vivo* são: ser biocompatível, esteticamente agradável, confortável e interferir minimamente na função e na fonética [54]. O

protótipo segue todos esse parâmetros: apresenta baixa toxicidade, possui uma aparência atrativa; superfície lisa, brilhosa e com ângulos arredondados, e evita o uso de peças metálicas, aliviando o peso do aparelho e tornando-o mais delicado. Adicionalmente, há outro aspecto do processo que traz comodidade aos pacientes, o processo de escanear que, apesar de demandar um pouco mais tempo, causa menos desconforto em comparação com a moldagem [55].

Modificação

Conforme mencionado acima, a impressão mediante o emprego do sistema CAD/CAM proporciona uma reprodução simplificada dos aparelhos. Consequentemente, se for necessário, o desenho digital pode ser alterado e o protótipo reimpresso [56]. Uma ilustração dessa situação, seria a adição de uma barra de reforço perto dos encaixes para pacientes que possuem bruxismo severo e, por conseguinte, fraturam dispositivos de apneia com grande frequência. Outras modificações recorrentes que podem ser incorporadas: diminuir a retenção ao redor de coroas e implantes mais frágeis, aumentar o alívio interno para pacientes que possuem hipersensibilidade e sentem

apertamento, diminuir o nível de avanço mandibular para cessar dor articular, entre outras demandas.

Aplicabilidade

Futuramente, no ambiente clínico seguiremos o fluxo de trabalho convencional para duoblocos, porém com algumas modificações tendo em vista a confecção CAD/CAM [57]. Consistirá em: documentação ortodôntica (cefalometria, fotografias intra e extrabucais, radiografia panorâmica), escaneamento, modelagem 3D do aparelho, impressão, lavagem, cura, instalação, retornos periódicos de 15 em 15 dias para o avanço progressivo programado durante 3-4 meses e polissonografias de acompanhamento de 6 em 6 meses inicialmente e posteriormente de ano em ano. A implementação desse protocolo garantirá um atendimento de qualidade para os pacientes portadores de SAOS, conferindo o manejo adequado dos seus sinais e sintomas.

5.2 Limitações

Certamente, assim como qualquer tecnologia, a fabricação de dispositivos individualizados por impressão 3D também apresenta desafios e possíveis limitações. Alguns dos problemas mais comuns incluem:

Investimento

A praticidade da impressão 3D demonstra claramente que a odontologia digital tem potencial para a sua incorporação diária em todos os âmbitos profissionais. Porém, segundo um estudo internacional sobre experiência de uso, foi coletada informação de especialistas em relação a implementação física dessa tecnologia, os tipos de equipamentos utilizados, o *software* de *design*, a acessibilidade da tecnologia e os custos anuais. Os dados obtidos sobre a satisfação, o preço de uma das impressoras mais populares, a Formlabs®, recebeu uma nota 4.4 numa escala de 0 a 5. Em relação aos *scanners*, 73 de um total de 120 profissionais possuem preferência pelos intraorais; por sua vez, somente 13 utilizaram o iTero®, a preferência de marca foi para o produto 3Shape® (3Shape A/S, Copenhagen, Denmark). Avaliando *softwares*, a grande maioria dos participantes utilizam ExoCad (n=41) e Meshmixer (n=29). Ademais, a frequência de uso do CAD/CAM por 72,5% dos usuários foi de pelo menos a cada 2 dias. Portanto, foi notado um investimento alto nos equipamentos, softwares e materiais para manutenção do uso da tecnologia anualmente: 55% investem em torno de cinco mil dólares [58]. É pertinente reconhecer que os custos associados à adoção da tecnologia na odontologia

podem ser considerados expressivos no contexto brasileiro. No entanto, é crucial ressaltar que tal investimento inicial pode se traduzir em um equilibrado custo-benefício quando considerados os ganhos em termos de eficiência e expansão do atendimento.

Calibração

Com o ganho de popularidade de impressoras tridimensionais *low-cost*, houve uma redução na qualidade de calibração destes aparelhos. Para poder fabricar produtos com grande acurácia, existe um protocolo para auxiliar no setup desses parâmetros. Cubos de teste com um comprimento definido são impressos e em seguida, medidos. As diferenças entre os valores medidos e desejados são usadas para o ajuste das configurações da impressora [59]. Quando feito o teste do cubo com uma área de 1cm^3 , a impressora Formlabs 2 apresentou um erro - 1cm foi convertido para 8mm do objeto impresso. A falha pode parecer minúscula, porém quando lidamos, por exemplo, com o alívio do aparelho de 0,25mm, essa discrepância assume proporções substanciais, culminando em uma defeito que invalida a utilidade do protótipo. Por essa razão, a regulagem meticulosa das impressoras 3D é imprescindível quando aplicadas as áreas da saúde, e em

especial, na odontologia, onde tratamos de elementos de pequenas dimensões.

Fresagem

Quando se perguntamos sobre se a fresagem seria uma melhor alternativa de fabricação, existe controvérsia. Em um estudo cujo objetivo foi comparar resinas prensadas, fresadas e impressas em 3D de dispositivos oclusais, bem como o seu envelhecimento após exposição termal, foram analisadas as seguintes propriedades: resistência flexural, dureza, absorção de água, solubilidade em água e topografia superficial. Os resultados indicam que as resinas prensadas e fresadas podem ser consideradas equivalentes em termos de suas propriedades materiais. Entretanto, as resinas impressas apresentaram menores valores de resistência flexural e dureza e maior absorção de água e solubilidade. Esse desfecho mostra a fraqueza dos polímeros 3D e a superioridade dos aparelhos fresados [60]. Em contrapartida, segundo outro estudo, placas oclusais fresadas mostraram uma maior veracidade, mas não a maior precisão ao mesmo tempo. Os aparelhos impressos posicionadas horizontalmente mostraram os menores desvios em termos de veracidade, enquanto o posicionamento vertical resultou em maior precisão [61].

Isso evidencia o fato de que dispositivos impressos, apesar de serem menos robustos, são mais exatos em comparação àqueles confeccionados por meio de fresagem. A seleção do método ideal é complexa, requer uma análise dos atributos mais pertinentes à situação em questão.

Resistência e Durabilidade

Alguns materiais utilizados na impressão 3D apresentam limitações em relação a resistência e durabilidade, em comparação com os dos métodos tradicionais de fabricação. Isso pode representar uma preocupação, particularmente em dispositivos sujeitos a desgaste frequente ou cargas mecânicas significativas [62]. Já enfrentamos um cenário em que houve uma fratura na linha de encaixe de um dispositivo em um paciente com bruxismo severo. A fim de abordar essa problemática, foram introduzidas estratégias para fortalecer a estrutura dos dispositivos impressos. Um desses enfoques envolveu a proposição de reforços no encaixe e o aumento da espessura do dispositivo na região adjacente aos molares. No entanto, para garantir a eficácia dessas modificações e prevenir futuros problemas, é crucial conduzir uma série de testes rigorosos. Estes devem avaliar como as alterações

afetam a resistência do dispositivo sob diferentes condições de uso, incluindo simulações de carga e desgaste repetitivo.

Textura e Cor

Embora a impressão 3D esteja ficando mais comum na odontologia, a técnica não produz a qualidade necessária para todas as aplicações desejadas. O tipo de resina, resolução de impressão, posicionamento, alinhamento, estrutura, tipo e número de hastes de suporte todos podem influenciar na textura de objetos impressos. Um estudo sobre qualidade de superfície avaliou os seguintes métodos de fabricação: impressão, fresagem e moldagem tradicional. A rugosidade achada foi de 0,87-4,44 μm (impresso); 2,32-2,57 μm (fresado); 1,72-1,86 μm (gesso/alginato) e 0,98-1,03 μm (gesso/poliéster), respectivamente. Assim, os modelos impressos possuem um gradiente expressivo que depende de variáveis flutuantes [63]. Outro estudo menciona que a lisura superficial e dureza do material resulta do ângulo e altura de impressão. Diferenças estatisticamente significativas na capacidade de polimento foram encontradas entre os diferentes materiais das placas oclusais. Os materiais de *splint* oclusal impressos em 3D a 0° produziram o maior

brilho e a menor rugosidade da superfície pré-polida. Enquanto os materiais de *splint* oclusal impressos em 3D a 45° e 90° exigiam polimento com lixas, pedra-pomes e pasta [64]. Além do mais, os polímeros utilizados ainda apresentam falhas no comportamento colorimétrico, tais como: suscetibilidade a manchas e estabilidade de cor com variações no tempo de pós-polimerização. As diferenças de cor e translucidez são visualmente perceptíveis e suas alterações derivam da orientação de impressão [65]. No contexto do protótipo, seu processo de impressão é realizado a um ângulo de 45 graus, com uma altura de impressão correspondente a alguns centímetros. Em virtude destes fatores, torna-se evidente o desafio da manutenção da cor e do refinamento da sua superfície. Dessa maneira, devemos adotar medidas para aperfeiçoar esses aspectos visuais e texturais do aparelho personalizado para apneia.

Ajustes

Outra questão desafiadora diz respeito aos ajustes necessários quando um aparelho impresso não se encaixa corretamente na consulta de instalação. No contexto tradicional, seria viável adicionar ou remover resina acrílica do dispositivo de apneia confeccionado em laboratório para

obter a alteração desejada. Para promover o avanço progressivo, por exemplo, precisaria executar uma ação simples - girar um parafuso [66]. Entretanto, na versão impressa, caso ocorra alguma discrepância, a única alternativa é a reimpressão completa do protótipo. Esse cenário acarreta em um consumo substancial de material, refletindo em uma adição de custos no balanço final. Essa consideração pode ser vista como algo positivo, uma vez que a flexibilidade de realizar modificações no seu design é inegavelmente vantajosa. Contudo, também é passível de ser interpretada sob uma perspectiva negativa, quando se avalia o acréscimo no consumo de resina que tal flexibilidade implica.

6. CONCLUSÃO

Em suma, a criação e desenvolvimento do protótipo de um aparelho intraoral de avanço mandibular para SAOS impresso em 3D representa um notável avanço na área da odontologia e na tecnologia médica como um todo. A utilização do CAD/CAM possibilitou a materialização de um conceito inovador, permitindo a personalização precisa para atender às necessidades específicas de cada paciente. A capacidade de ajustar o aparelho de acordo com as

características únicas de cada indivíduo abre portas para tratamentos mais eficazes e confortáveis, especialmente na abordagem de distúrbios respiratórios do sono e outras condições relacionadas.

Além disso, a adoção da tecnologia de impressão 3D reduz significativamente o tempo de produção e os custos associados, tornando esses dispositivos mais acessíveis a um público mais amplo.

Apesar de existirem algumas desvantagens, como o investimento financeiro alto, equipamentos às vezes imprecisos e materiais para impressão ainda insatisfatórios em suas propriedades, o AAM individualizado com design singular traz a possibilidade de um avanço mandibular progressivo numa estrutura harmoniosa, tornando-o mais valioso do que seus defeitos.

Embora o protótipo seja promissor, é importante destacar que a pesquisa e a colaboração interdisciplinar devem continuar a aprimorar e validar essa abordagem. Testes mecânicos e clínicos com feedback dos pacientes e a incorporação contínua de avanços científicos são essenciais para garantir a eficácia, segurança e confiabilidade desse dispositivo a longo prazo.

Por fim, a interseção entre Odontologia e tecnologia demonstra um potencial transformador para a qualidade de

vida dos pacientes portadores da Síndrome de Apneia Obstrutiva do Sono.

REFERÊNCIAS

1. FARRELL, Peter C.; RICHARDS, Glenn. Recognition and treatment of sleep-disordered breathing: an important component of chronic disease management. *J Transl Med*, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 114, mai. 2017.
2. WU, Donghong et al. Impact of obstructive sleep apnea on cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Breath*, [S.l.], v. 27, n. 3, p. 843-852, jun. 2023.
3. MCDERMOTT, Mollie; BROWN, Devin L. Sleep apnea and stroke. *Curr Opin Neurol*, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 4-9, fev. 2020.
4. SERAVALLE, Gino; GRASSI, Guido. Sleep Apnea and Hypertension. *High Blood Press Cardiovasc Prev*, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 23-31, jan. 2022.
5. CHANG, Hong-Po et al. Obstructive sleep apnea treatment in adults. *Kaohsiung J Med Sci*, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 7-12, jan. 2020.
6. BENJAFIELD, Adam V. et al. Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. *Lancet Respir Med*, [S.l.], v. 7, n. 8, p. 687–698, ago. 2019.
7. KIRSCH, Douglas B. Obstructive Sleep Apnea. *Continuum (Minneap Minn)*, [S.l.], v. 26, n. 4, p. 908-928, ago. 2020.
8. STEPHEN, G. A. et al. Treatment of sleep disordered breathing and obstructive sleep apnea. *Minerva Med*, [S.l.], v. 95, n. 4, p. 323-336, ago. 2004.
9. LORENZI-FILHO, Geraldo; ALMEIDA, Fernanda R.; STROLLO, Patrick J. Treating OSA: Current and emerging therapies beyond CPAP. *Respirology*, [S.l.], v. 22, n. 8, p. 1500-1507, nov. 2017.
10. UNIKEN VENEMA, Julia A. M. et al. Mandibular advancement device design: A systematic review on outcomes in obstructive sleep apnea treatment. *Sleep Med Rev*, [S.l.], v. 60, p. 101557, dez. 2021.
11. SACCOMANNO, Sabina et al. The Potential of Digital Impression in Orthodontics. *Dent. J.*, [S.l.], v. 10, n. 8, p. 147, ago. 2022.

12. IVANHOE, John R. et al. Sleep disordered breathing in infants and children: a review of the literature. *Pediatr Dent*, [S.I.], v. 29, n. 3, p. 193-200, maio/jun. 2007.
13. SUTHERLAND, Kate et al. Obesity and craniofacial structure as risk factors for obstructive sleep apnoea: impact of ethnicity. *Respirology*, [S.I.], v. 17, n. 2, p. 213-222, fev. 2012.
14. STOOHS, Riccardo A.; GOLD, Morris S. Symptoms of sleep disordered breathing: Association with the apnea-hypopnea index and somatic arousal. *Sleep*, [S.I.], v. 101, p. 350-356, jan. 2023.
15. WALKER, Nathan A. et al. Clinical utility of the Epworth sleepiness scale. *Sleep Breath*, [S.I.], v. 24, n. 4, p. 1759-1765, dez. 2020.
16. BITTENCOURT, Lia Rita Azeredo et al. Abordagem geral do paciente com síndrome da apneia obstrutiva do sono / General approach in patient with obstructive sleep apnea syndrome *Rev Bras Hipertens*, [S.I.], v. 16, n. 3, p. 158-163, 2009.
17. FARRELL, Peter C.; RICHARDS, Glenn. Recognition and treatment of sleep-disordered breathing: an important component of chronic disease management. *J Transl Med*, [S.I.], v. 15, n. 1, p. 114, maio 2017.
18. CAPLES, Sean M. et al. Use of polysomnography and home sleep apnea tests for the longitudinal management of obstructive sleep apnea in adults: an American Academy of Sleep Medicine clinical guidance statement. *J Clin Sleep Med*, [S.I.], v. 17, n. 6, p. 1287-1293, jun. 2021.
19. MEDICAL ADVISORY SECRETARIAT. Polysomnography in patients with obstructive sleep apnea: an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser*, [S.I.], v. 6, n. 13, p. 1-38, 2006.
20. ROEHRS, Timothy; ROTH, Thomas. The effects of medications on sleep quality and sleep architecture. UpToDate Inc., 2022. Disponível em: <https://www.uptodate.com/contents/the-effects-of->

medications-on-sleep-quality-and-sleep-architecture?topicRef=7695&source=see_link. Acesso em: 18 de ago. de 2023.

21. TRZEPZUR, Wojciech et al. Health outcomes of continuous positive airway pressure versus mandibular advancement device for the treatment of severe obstructive sleep apnea: an individual participant data meta-analysis. *Sleep*, [S.l.], v. 44, n. 7, p. 15, jul. 2021.
22. SCHWARTZ, Martha et al. Effects of CPAP and mandibular advancement device treatment in obstructive sleep apnea patients: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Breath*, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 555-568, set. 2018.
23. MICKELSON, Samuel A. Oral Appliances for Snoring and Obstructive Sleep Apnea. *Otolaryngol Clin North Am*, [S.l.], v. 53, n. 3, p. 397-407, jun. 2020.
24. HAMODA, Mona M. et al. Long-term side effects of sleep apnea treatment with oral appliances: nature, magnitude and predictors of long-term changes. *Sleep Med*, [S.l.], v. 56, p. 184-191, abr. 2019.
25. CISTULLI, Peter A. Oral appliances in the treatment of obstructive sleep apnea in adults. UpToDate Inc., 2023. Disponível em: <https://www.uptodate.com/contents/oral-appliances-in-the-treatment-of-obstructive-sleep-apnea-in-adults#H6>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
26. PETIT, Francois-Xavier et al. Mandibular advancement devices: rate of contraindications in 100 consecutive obstructive sleep apnea patients. *Am J Respir Crit Care Med*, [S.l.], v. 166, n. 3, p. 274-278, ago. 2002.
27. MEDICAL ADVISORY SECRETARIAT. Oral appliances for obstructive sleep apnea: an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser*, [S.l.], v. 9, n. 5, p. 1-51, 2009.
28. ALSHHRANI, Waled M. et al. The efficacy of a titrated tongue-stabilizing device on obstructive sleep apnea: a quasi-experimental study. *J Clin Sleep Med*, [S.l.], v. 17, n. 8, p. 1607-1618, ago. 2021.

29. AMIN, Anish; MESHRAMKAR, Roseline; LEKHA, K. Comparative evaluation of clinical performance of different kind of occlusal splint in management of myofascial pain. *J Indian Prosthodont Soc*, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 176-181, abr/jun. 2016.
30. ABD-ELLAH, Mervat E. et al. Modified biblock versus monoblock mandibular advancement appliances for treatment of obstructive sleep apnea: A randomized controlled trial. *Prosthodontics*, [S.l.], v. 2022, p. S0022-3913(22)00144-5, abr. 2022.
31. DE MEYER, Micheline M. D. et al. Use of mandibular advancement devices for the treatment of primary snoring with or without obstructive sleep apnea (OSA): A systematic review. *Sleep Med Rev*, [S.l.], v. 56, p. 101407, abr. 2021.
32. DAVIDOWITZ, Gary; KOTICK, Philip G. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*, [S.l.], v. 55, n. 3, p. 559-570, jul. 2011.
33. CUNHA, Taís de Moraes Alves da; BARBOSA, Inessa da Silva; PALMA, Karolinne Kaila. Orthodontic digital workflow: devices and clinical applications. *Dent Press J Orthod*, [S.l.], v. 26, n. 6, p.21-6, dez. 2021.
34. NG, Jing Hao; YOW, Mimi. Oral appliances in the management of obstructive sleep apnea. *Sleep Med Clin*, [S.l.], v. 14, p. 109-118, 2019.
35. UNIKEN VENEMA, Julia A. M. et al. Long-term obstructive sleep apnea therapy: a 10-year follow-up of mandibular advancement device and continuous positive airway pressure. *J Clin Sleep Med*, [S.l.], v. 16, n. 3, p. 353-359, mar. 2020
36. PANAYI, Nearchos C. Directly Printed Aligner: Aligning with the Future. *Turk J Orthod*, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 62-69, mar. 2023.
37. SUESE, Kazuhiko. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dentistry Journal*, [S.l.], v. 39, n. 1, p. 52-56, jan. 2020.

38. ITERO. iTero Element 2, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://global.itero.com/pt-br/products>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
39. FORMLABS. 3D-printers Form 2, 2023. Disponível em: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
40. YLLER. Resina Cosmos Splint, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.yller.com.br/produto/cosmos-splint/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
41. MAKERTECHLABS. Prizma Biosplint, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.makertechlabs.com.br/produto/resina-prizma-3d-bio-splint-70143>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
42. FORMLABS. Post-processing Formwash, 2023. Disponível em: <https://formlabs.com/store/post-processing/form-wash/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
43. ANYCUBIC. Wash & Cure 2-0, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.anycubic.com/products/wash-cure-machine-2-0>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
44. MAKERTECHLABS. Prizma Seal Glaze, 2023. Disponível em: <https://www.makertechlabs.com.br/produto/prizma-seal-glaze-fotopolimerizavel-70153#descricao>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
45. WISHBOX. Manual Formlabs Form 2, 2018. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/app/uploads/2018/11/Treinamento-FormLabs-Form-2-Wishbox.pdf>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
46. TOZLU, Murat; OZDEMIR, Fulya. In-house Aligners: Why We Should Fabricate Aligners in Our Clinics? *Turk J Orthod*, v.34, n.3, p.199–201, set. 2021. Publicado online em 1 set. 2021.
47. BERMAN, Barry. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, v. 55, n. 2, p. 155-162, mar./abr. 2012.
48. LAYMAN, Bill; KHOSRAVI, Rooz; SINHA, Pramod. Cost driven decision making on 3D printing appliances in-office. *Seminars in Orthodontics*, v. 28, n. 2, p. 73-79, jun. 2022.

49. TARTAGLIA, Gianluca M. et al. Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Current State and Future Possibilities. *Materials*, v. 14, n. 7, artigo 1799, 2021.
50. JODA, Tim et al. Clinical Fitting and Adjustment Time for Implant-Supported Crowns Comparing Digital and Conventional Workflows. *Clin Implant Dent Relat Res*, v. 18, n. 5, p. 946-954, out. 2016.
51. LEE, Sang J. et al. Comparison of Intraoral and Extraoral Digital Scanners: Evaluation of Surface Topography and Precision. *Dent J (Basel)*, v. 8, n. 2, artigo 52, jun. 2020.
52. NÉMETH, Anna et al. Clear guidance to select the most accurate technologies for 3D printing dental models - A network meta-analysis. *J Dent*, v. 134, artigo 104532, jul. 2023.
53. BUDURU, Smaranda et al. CAD-CAM Occlusal Splints: Milling and Printing Methods. *Rev. Chim.*, v. 69, n. 12, jul. 2018.
54. NASSIF, Maryse et al. Materials and manufacturing techniques for occlusal splints: A literature review. *J Oral Rehabil*, [publicação online antes da impressão], 1 jul. 2023.
55. BERNTSEN, Christian et al. Clinical comparison of conventional and additive manufactured stabilization splints. *Acta Biomater Odontol Scand*, v. 4, n. 1, p. 81-89, ago. 2018.
56. VENEZIA, P. et al. Digital manufacturing of occlusal splint: from intraoral scanning to 3D printing. *Journal of Osseointegration*, v. 11, n. 4, p. 535–539, set. 2019.
57. COUSLEY, Richard RJ. Introducing 3D printing in your orthodontic practice. *Orthodontic Update*, v. 47, n. 3, jun. 2020.
58. HEGEDUS, Tamas et al. User Experience and Sustainability of 3D Printing in Dentistry. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 4, p. 1921, fev. 2022.

59. STOPP, Sebastian et al. A new method for printer calibration and contour accuracy manufacturing with 3D-print technology. *Rapid Prototyping Journal*, v. 14, n. 3, p. 167-172, maio 2008.
60. BERLI, Constantin et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent*, v. 124, n. 6, p. 780-786, dez. 2020.
61. MARCEL, Reymus; HICKEL, Reinhard; KEßLER, Andreas. Accuracy of CAD/CAM-fabricated bite splints: milling vs 3D printing. *Clin Oral Investig*, v. 24, n. 12, p. 4607-4615, dez. 2020.
62. DELLA BONA, Alvaro et al. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater*, v. 37, n. 2, p. 336-350, fev. 2021.
63. ARNOLD, Christin et al. Surface Quality of 3D-Printed Models as a Function of Various Printing Parameters. *Materials (Basel)*, v. 12, n. 12, artigo 1970, jun. 2019.
64. GRYMAK, Anastasiia et al. Comparison of hardness and polishability of various occlusal splint materials. *J Mech Behav Biomed Mater*, v. 115, artigo 104270, mar. 2021.
65. ESPINAR, Cristina et al. The influence of printing angle on color and translucency of 3D printed resins for dental restorations. *Dental Materials*, v. 39, n. 4, p. 410-417, abr. 2023.
66. LETTIERI, Christopher J. et al. Comparison of Adjustable and Fixed Oral Appliances for the Treatment of Obstructive Sleep Apnea. *J Clin Sleep Med*, v. 7, n. 5, p. 439–445, out. 2011.

FIGURAS:

1. LAZARD, Diane S. ET AL. The Tongue-Retaining Device: Efficacy and Side Effects in Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *JClin Sleep Med*, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 431-438, out. 2009
2. FEITOZA, Christiane Cavalcante DDS, MS, PhD; COELHO, Nilton DDS; COSTA, Nilton DDS; PONTE, Alexandre DDS; AZEVEDO, Wanderson DDS, MS. Treatment of Snoring and Sleep Apnea with a Tongue Rehabilitation Device. *Journal of Clinical Orthodontics*, [S.I.], v. 54, n. 7, p. [Página inicial]-[Página final], jul. 2020.
3. NG, Jing Hao; YOW, Mimi. Oral appliances in the management of obstructive sleep apnea. *Sleep Med Clin*, [S.I.], v. 14, p. 109-118, 2019.
4. CHAVES JUNIOR, Cauby Maia; GUIMARÃES, Maria de Lourdes Rabelo; GUIMARÃES, Thais de Moura; DAL-FABBRO, Cibele. Qual modalidade de aparelho intraoral devo usar no tratamento de adultos com apneia do sono? *Revista Clínica de Ortodontia Dental Press*, [S.I.], v. 16, n. 2, p. 68-74, jan. 2017.
5. GUIMARÃES, Maria de Lourdes Rabelo; PEREIRA, Júlia Barbosa Becattini; JARDIM, Flávia Fulgêncio Tanure; COSTA, Tamires Monteiro Martins da. Efetividade em Longo-Prazo de Dois Aparelhos Intraorais no Tratamento da Apneia Obstrutiva do Sono: Relato de um Caso. *Revista de Odontologia da UNESP (Online)*, [S.I.], v. 43, n. 5, p. 332-337, out. 2014.
6. ITERO. iTero Element 2, 2023. Página Inicial. Disponível em: <https://global.itero.com/pt-br/products>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
7. FORMLABS. 3D-printers Form 2, 2023. Página Inicial. Disponível em: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.

8. YLLER. Resina Cosmos Splint, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.yller.com.br/produto/cosmos-splint/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
9. MAKERTECHLABS. Prizma Biosplint, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.makertechlabs.com.br/produto/resina-prizma-3d-bio-splint-70143>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
10. FORMLABS. Post-processing Formwash, 2023. Disponível em: <https://formlabs.com/store/post-processing/form-wash/>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
11. ANYCUBIC. Wash & Cure 2-0, 2023. Página inicial. Disponível em: <https://www.anycubic.com/products/wash-cure-machine-2-0>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.
12. MAKERTECHLABS. Prizma Seal Glaze, 2023. Disponível em: <https://www.makertechlabs.com.br/produto/prizma-seal-glaze-fotopolimerizavel-70153#descricao>. Acesso em: 18 de ago. de 2023.

APÊNDICE

O presente trabalho está vinculado ao Pedido de Patente número BR 10 2023 0231136 do Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Ministério de Economia. As informações constadas são patrimônio dos autores e não podem ser replicadas.