v.1, n.1, 2026

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

ACURÁCIA DE SOFTWARES DE PLANEJAMENTO DIGITAL EM ORTODONTIA E PERCEPÇÃO DOS PROFISSIONAIS

EXACTITUD DEL SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN DIGITAL EN ORTODONCIA Y PERCEPCIÓN PROFESIONAL

ACCURACY OF DIGITAL ORTHODONTIC PLANNING SOFTWARE AND THE PERCEPTION OF ORTHODONTIC PROFESSIONALS

Mário Machado Neto[1], Ana Carla Raphaelli Nahás[1], Liliana Ávila Maltagliati[1], Mayara Paim Patel[1], Marcio Magera Conceição[1], Hélio Doyle Pereira da Silva[1], Murilo Matias[1], Jamil Awad Shibli[1]

e116
https://doi.org/10.47820/csrv21.v1i16

PUBLICADO: 01/2026

RESUMO

Introdução: A ortodontia digital tem se expandido rapidamente nos últimos anos, especialmente no que se refere ao fluxo de trabalho digital para a confecção de alinhadores transparentes. Os softwares de planejamento desempenham papel central nesse processo. O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia de diferentes softwares de planejamento digital e analisar a percepção dos profissionais quanto às suas funcionalidades. Material e Métodos: A acurácia foi avaliada por meio de análise digital do setup virtual utilizando o software Materialise (3-matic 17.0, Leuven, Bélgica). A percepção dos profissionais foi obtida por meio de questionário on-line aplicado a ortodontistas especialistas. Resultados: A acurácia dos movimentos de translação dentária foi semelhante entre os softwares, apresentando valores superiores a 96% em todos os sistemas avaliados. Em relação aos movimentos de rotação dentária, a maioria dos softwares demonstrou elevados níveis de acurácia (superiores a 97%), com exceção do software SureSmile Ortho, que apresentou acurácia de 63%. Conclusão: A escolha do software de planejamento digital em ortodontia parece estar mais relacionada a fatores de usabilidade — como interface, ferramentas e interatividade — do que a diferenças na acurácia da previsão dos movimentos dentários.

PALAVRAS-CHAVE: Ortodontia digital. Tratamento ortodôntico. Alinhadores transparentes. Planejamento digital. Software de planejamento.

ABSTRACT

Introduction: Digital orthodontics has rapidly expanded in recent years, particularly regarding the digital workflow for clear aligner fabrication. Planning software plays a key role in this process, serving as the interface through which virtual setups and treatment sequences are generated and subsequently converted into aligners. This study aimed to evaluate the accuracy of different digital orthodontic planning software and to assess professionals' perceptions of their functionalities. Methods: Software programs were categorized based on their characteristics and available tools. Accuracy was assessed through digital analysis of the virtual setup using Materialise software (3-matic 17.0, Leuven, Belgium). Professionals' perceptions were obtained through an online questionnaire applied to orthodontic specialists. Statistical analyses included multiple comparisons of questionnaire responses and Spearman's correlation coefficient. Results: The accuracy of tooth translation movements was comparable across all software systems, exceeding 96% in every platform evaluated. Regarding tooth rotation movements, four of the five software programs

[1] Departamento de Ortodontia, Faculdade de Odontologia, Universidade Guarulhos, Guarulhos, São Paulo, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

demonstrated high levels of accuracy (above 97%), whereas SureSmile Ortho showed lower rotational accuracy (63%). Conclusion: The choice of digital orthodontic planning software appears to be driven more by usability factors — including interface, tools, and interactivity — than by differences in the accuracy of tooth movement prediction.

***KEYWORDS**: Digital orthodontics. Orthodontic treatment. Clear aligners. Digital planning. Planning software.*

RESUMEN
Introducción: La ortodoncia digital se ha expandido rápidamente en los últimos años, especialmente en lo que respecta al flujo de trabajo digital para la confección de alineadores transparentes. Los softwares de planificación desempeñan un papel central en este proceso. El objetivo de este estudio fue evaluar la precisión de diferentes softwares de planificación digital y analizar la percepción de los profesionales en cuanto a sus funcionalidades. Materiales y Métodos: Los softwares fueron categorizados según sus características y herramientas disponibles. La precisión fue evaluada mediante análisis digital del setup virtual utilizando el software Materialise (3-matic 17.0, Leuven, Bélgica). La percepción profesional se obtuvo mediante un cuestionario en línea aplicado a ortodoncistas especialistas. Resultados: La precisión de los movimientos de traslación dentaria fue similar entre los softwares, presentando valores superiores al 96% en todas las plataformas evaluadas. En relación con los movimientos de rotación dentaria, cuatro de los cinco softwares demostraron altos niveles de precisión (superiores al 97%), mientras que el software SureSmile Ortho presentó menor precisión rotacional (63%). Conclusión: La elección del software de planificación digital en ortodoncia parece estar más relacionada con factores de usabilidad — como la interfaz, las herramientas y la interactividad — que con diferencias en la precisión de la predicción de los movimientos dentarios.

***PALABRAS CLAVE**: Ortodoncia digital; Tratamiento de ortodoncia; Alineadores transparentes; Planificación digital; Software de planificación.*

INTRODUÇÃO

A ortodontia digital tem experimentado avanços significativos ao longo da última década, impulsionados principalmente pela ampla incorporação de tecnologias de escaneamento tridimensional (3D). Embora o escaneamento de modelos de gesso em bancada tenha inicialmente representado o principal método para a obtenção de dados tridimensionais da superfície dentária, essa abordagem foi quase completamente substituída na prática clínica ortodôntica pelo escaneamento intraoral. Essa técnica possibilita a aquisição, em tempo real, de modelos virtuais altamente precisos e coloridos das arcadas dentárias, da mucosa adjacente e das relações oclusais. Inicialmente empregado para fins de planejamento e documentação, o escaneamento intraoral expandiu-se rapidamente para múltiplas aplicações clínicas à medida que os ambientes de softwares 3D evoluíram em sofisticação e acessibilidade. Nesse contexto, o

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

escaneamento constitui apenas a primeira etapa de um fluxo de trabalho digital mais amplo, composto por três elementos interdependentes: escaneamento intraoral, manipulação e planejamento virtual de modelos 3D — denominado setup digital — e impressão 3D (Sachdev et al., 2021).

Essa transformação digital representa uma mudança de paradigma na odontologia, sendo a ortodontia provavelmente a especialidade mais profundamente impactada por esse processo. Enquanto tradicionalmente os ortodontistas confeccionavam, em consultório, dispositivos simples como contenções, os fluxos de trabalho digitais permitem atualmente a produção economicamente viável desses aparelhos sem a necessidade de modelos de gesso ou equipamentos laboratoriais convencionais. Além disso, dispositivos ativos, como os alinhadores transparentes, podem ser rotineiramente produzidos in loco, com níveis de precisão comparáveis aos sistemas industriais de fabricação de alinhadores (Sachdev et al., 2021).

O surgimento dos sistemas de alinhadores transparentes produzidos em consultório (in-house) acrescentou uma nova dimensão à ortodontia digital. Diferentemente dos fornecedores comerciais, os sistemas in-house conferem ao clínico controle total sobre todo o fluxo de trabalho, integrando softwares às tecnologias de escaneamento e impressão 3D, eliminando custos de terceirização e reduzindo o tempo de produção. Esses sistemas diferem entre si quanto à mecânica dos softwares, processos de fabricação, materiais utilizados, fidelidade dos modelos, desenho de attachments e margens dos alinhadores, fatores que podem influenciar sua eficácia clínica (Gao; Wichelhaus, 2017; Dasy et al., 2015; Lombardo et al., 2017a). Apesar dessa tendência crescente, ainda são limitados os estudos que investigam a acurácia e os desfechos clínicos dos alinhadores produzidos em consultório (Lombardo et al., 2017b; Tepedino et al., 2018).

O conceito de setup ortodôntico — introduzido pela primeira vez por Kesling em meados do século XX — proporcionou um meio para simular alternativas de tratamento e auxiliar na tomada de decisão clínica (Kesling, 1946; Kesling, 1956). A construção de múltiplos setups para um mesmo caso permitia aos ortodontistas avaliar cenários envolvendo extrações, desgaste interproximal, estratégias de ancoragem ou diferentes abordagens biomecânicas, além de facilitar a comunicação com pacientes e equipes interdisciplinares.

Com a transição para os modelos digitais, os setups passaram a ser gerados por meio de softwares de planejamento ortodôntico, oferecendo maior acurácia e confiabilidade em

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

comparação aos modelos convencionais de gesso e cera (Peluso et al., 2004; Im et al., 2014). Os ambientes digitais possibilitam análises adicionais, como a sobreposição dos movimentos planejados aos modelos originais e a quantificação do deslocamento dentário individual (Barreto et al., 2016). À medida que a terapia com alinhadores transparentes se torna mais prevalente, o setup digital tem sido cada vez mais incorporado como uma etapa rotineira do planejamento ortodôntico.

Nos fluxos de trabalho com alinhadores, o planejamento digital resulta na geração de subsetups no formato .stl, a partir dos quais os alinhadores são projetados digitalmente e posteriormente confeccionados, seja diretamente por impressão 3D ou por meio da termoformagem de lâminas de acetato sobre modelos impressos. Embora o planejamento digital forneça ao ortodontista informações diagnósticas e preditivas valiosas, os resultados clínicos são influenciados por variáveis biológicas e biomecânicas adicionais, que extrapolam o ambiente digital.

Os setups digitais também permitem ao ortodontista testar virtualmente diferentes estratégias de tratamento antes do início da terapia. Por exemplo, em casos de apinhamento anterior inferior, é possível comparar planos sem desgaste interproximal (IPR), com IPR ou mesmo com extrações, avaliando seus impactos na inclinação dos incisivos e no overjet. Essas possibilidades reforçam a crescente relevância do planejamento digital no suporte à tomada de decisão ortodôntica individualizada.

Dessa forma, o objetivo d o presente estudo foi avaliar a acurácia de diferentes softwares de planejamento digital em ortodontia durante o processo de confecção de alinhadores, bem como analisar a percepção dos clínicos quanto à sua aplicabilidade e às funcionalidades disponíveis.

MÉTODOS

O presente estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Guarulhos (CEP/UNG), sob o CAAE 64895422.9.0000.5506, antes do início de quaisquer procedimentos envolvendo participantes humanos, a fim de garantir a conformidade com os preceitos éticos. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Para a avaliação da acurácia de diferentes softwares de planejamento digital em ortodontia, cinco sistemas foram incluídos na análise:

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

1. **Meshmixer** (Autodesk Inc., EUA; versão 3.5.474): software gratuito; requer instalação; permite o planejamento e a exportação de subsetups no formato .stl.
2. **Blue Sky Plan** (BlueSkyBio Inc., EUA; versão 4.9.4, 64 bits): gratuito para planejamento; exportação de subsetups em .stl mediante pagamento; permite exportação por arcada; requer instalação.
3. **Archform** (Archform Inc., EUA; versão 1.9.5.2): gratuito para planejamento; exportação paga de subsetups em .stl; permite apenas a exportação de modelos completos, sem separação por arcada; requer instalação.
4. **SureSmile Ortho** (OraMetrix Inc., EUA; versão 7.6.31600.1227): software pago; baseado em navegador; não requer instalação; permite planejamento e exportação em .stl.
5. **Nemocast** (Nemotec Inc., Espanha; versão 22.5.0 UV 1 2KT): software pago; requer instalação e licença; permite planejamento; exportação em .stl sem custo adicional.

Uma comparação subjetiva quanto à acessibilidade e às ferramentas disponíveis para planejamento foi realizada por três ortodontistas especialistas, com formação e experiência clínica em planejamento digital, por meio do preenchimento de um questionário on-line.

Obtenção dos modelos 3D

Inicialmente, foi realizado um escaneamento 3D utilizando um scanner intraoral (3Shape, EUA) em um modelo acrílico simulando uma má oclusão de Classe I de Angle, com apinhamento leve e rotações dentárias. Esse procedimento gerou um modelo tridimensional no formato .stl, passível de edição em softwares de planejamento digital e de fabricação por meio de tecnologia de impressão 3D (**Figura 1**).

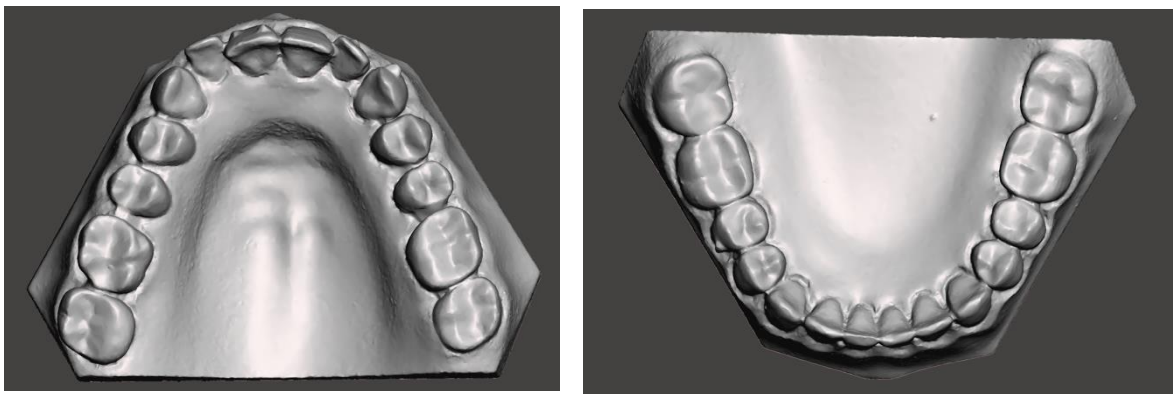


Figura 1.Modelos virtuais (arquivos .stl) resultantes do escaneamento tridimensional do modelo.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Mensuração da acurácia

Para a avaliação da acurácia dos softwares, foram realizados movimentos de rotação e translação dentária no modelo 3D utilizando cada um dos programas de planejamento digital. Os subsetups resultantes (ou seja, os modelos digitais após a realização dos movimentos) foram analisados por meio do software Materialise 3-Matic (versão 17.0; Leuven, Flemish Brabant, Bélgica), considerado uma ferramenta de referência para esse tipo de mensuração (**Figura 2**).

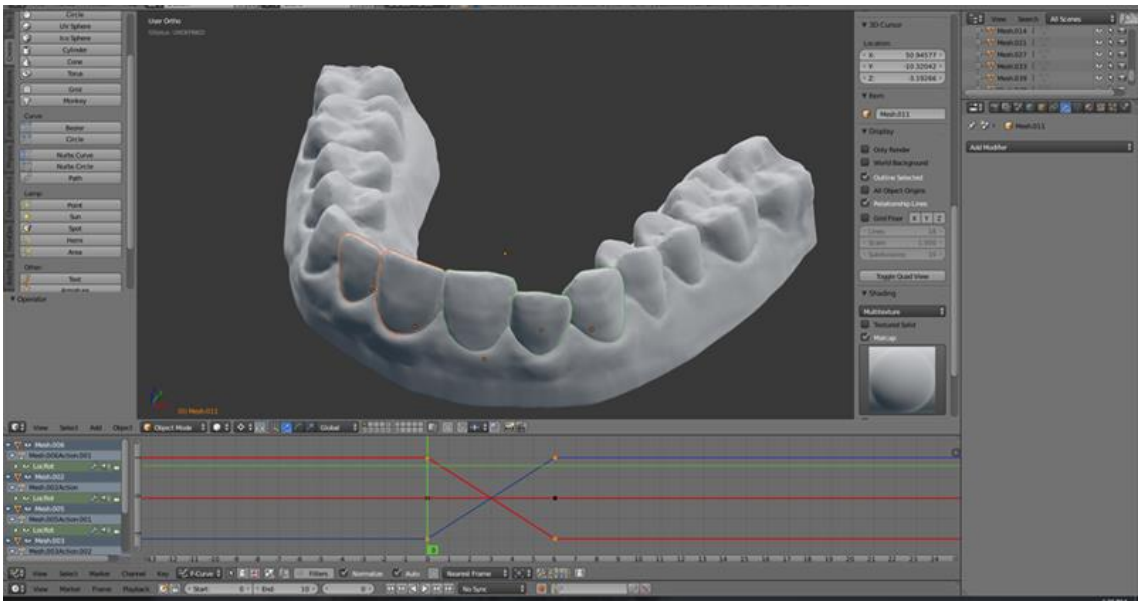


Figura 2. Software Materialise utilizado para a mensuração da acurácia dos softwares de planejamento digital em ortodontia.

A sobreposição do modelo digital 3D da arcada superior foi realizada utilizando o método best-fit sobre as superfícies palatinas, permitindo medições precisas e confiáveis (Choi et al., 2010). Na arcada inferior, a sobreposição em estruturas anatômicas estáveis proporcionou uma metodologia simples, reprodutível e confiável (Park et al., 2012) (**Figura 3**).

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

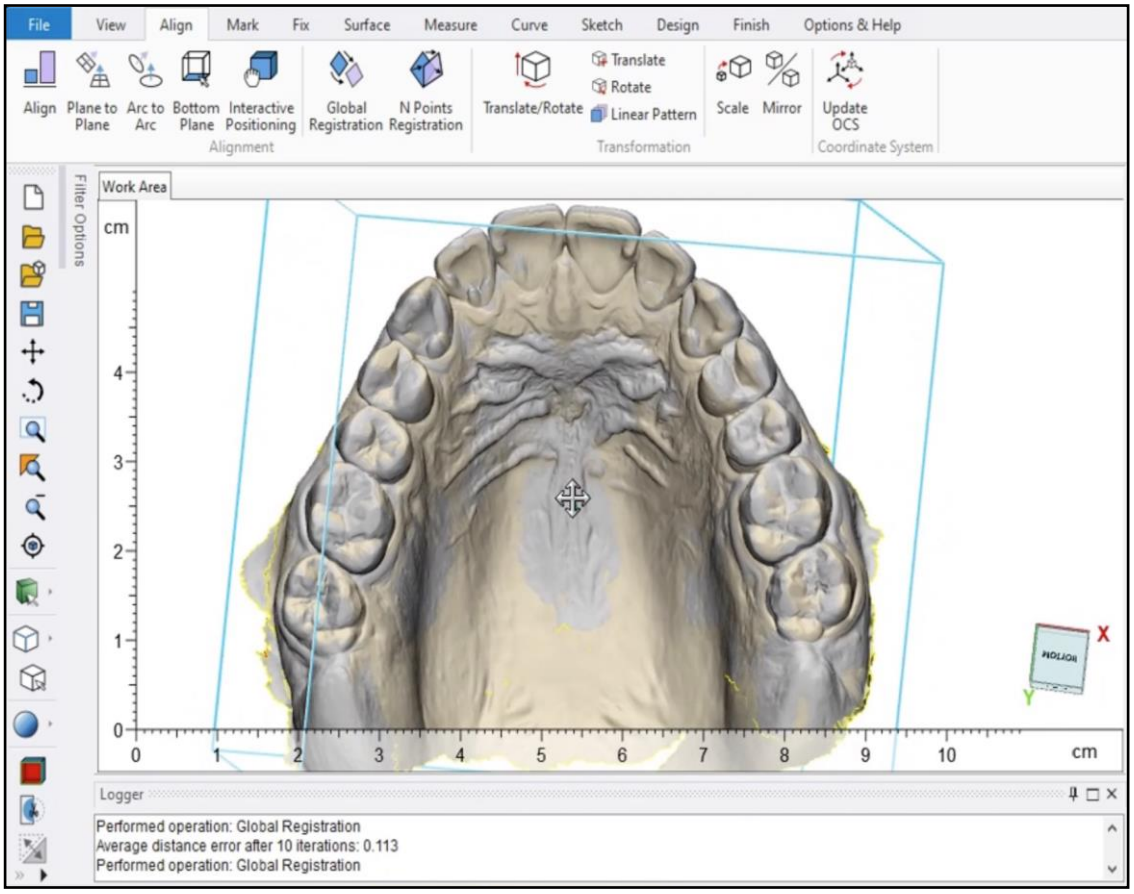


Figura 3. Sobreposição do modelo digital 3D na arcada superior por meio do método *best-fit* aplicado às rugas palatinas.

Os subsetups virtuais gerados por cada um dos cinco softwares foram individualmente sobrepostos ao modelo original — antes da realização de qualquer movimento dentário — com o objetivo de quantificar o deslocamento dentário (em milímetros ou graus). Esses valores foram então comparados às quantidades de movimento previstas por cada plataforma de software (**Figura 4**).

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

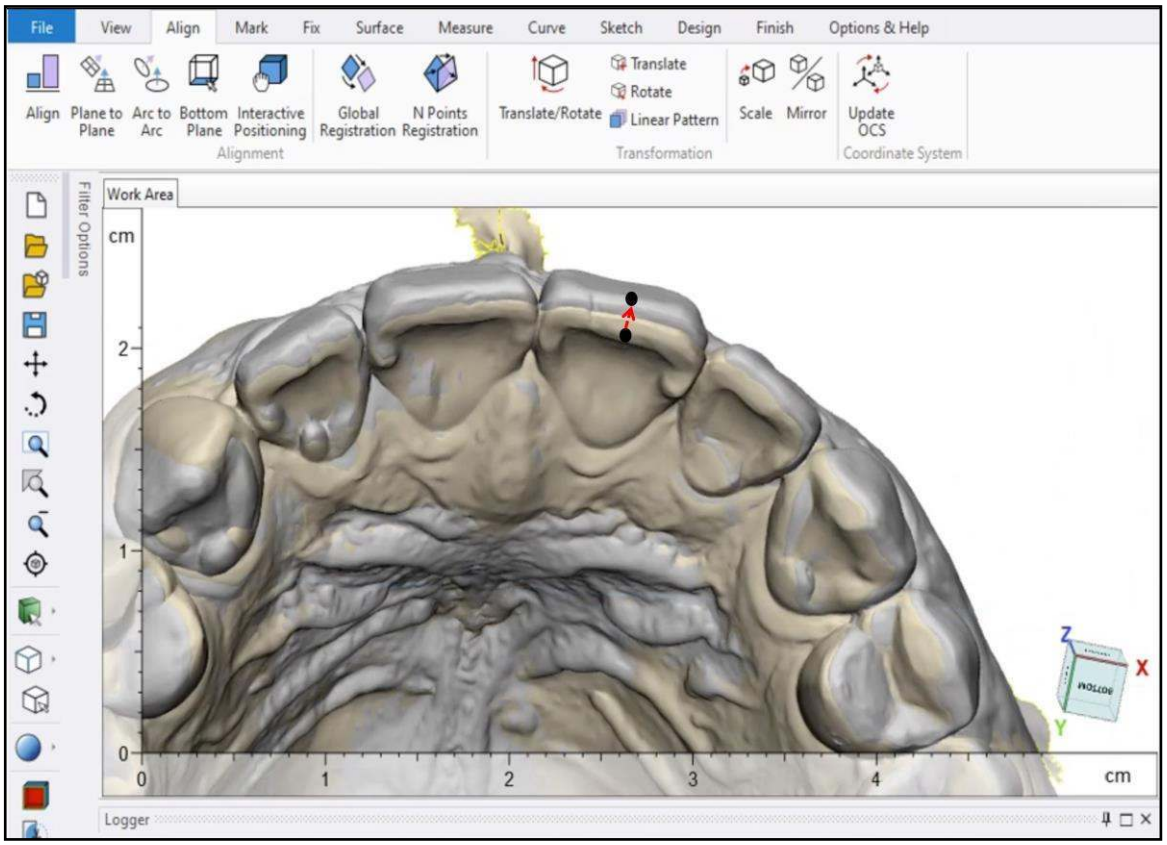


Figura 4. Modelos virtuais com os subsetups sobrepostos ao modelo original, sem a realização de qualquer movimento dentário, para mensuração da quantidade de movimento executado, em milímetros ou graus.

Avaliação dos softwares pelos profissionais

A análise subjetiva da acessibilidade e das ferramentas disponíveis em cada software de planejamento digital ortodôntico foi realizada por meio de um questionário on-line (Google Forms). O instrumento foi aplicado a três ortodontistas após a conclusão do planejamento digital com cada um dos softwares avaliados.

O questionário foi composto por nove itens, abordando a percepção dos clínicos durante o desenvolvimento passo a passo do planejamento ortodôntico com alinhadores. As respostas foram registradas em uma escala do tipo Likert de 10 pontos, em que 1 representou a pior avaliação e 10 a melhor avaliação.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

Considerando que o questionário foi aplicado a cirurgiões-dentistas especialistas em ortodontia, foi necessária aprovação ética prévia. Assim, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Guarulhos (CEP/UNG).

Análise estatística

Estatísticas descritivas foram utilizadas para avaliar a acurácia dos softwares de alinhadores produzidos em consultório. O teste de Shapiro–Wilk foi aplicado para verificar a normalidade dos dados do questionário. Como os dados não apresentaram distribuição normal, foram empregados testes não paramétricos.

A análise de comparações múltiplas foi utilizada para os resultados do questionário, e o coeficiente de correlação de Spearman foi aplicado para avaliar a concordância entre os avaliadores e o desempenho dos softwares. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SPSS (versão 25.0; IBM, Armonk, NY, EUA). Os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

Resultados

Os resultados das análises estatísticas estão apresentados em tabelas e figuras.

A **Tabela 1** apresenta os resultados referentes à acurácia dos softwares de planejamento digital em ortodontia. De modo geral, os movimentos de translação realizados por todos os softwares avaliados demonstraram excelente acurácia, com valores superiores a 96%. Para os movimentos de rotação, quatro dos cinco softwares apresentaram elevados níveis de acurácia, com valores superiores a 97%. O software SureSmile Ortho apresentou a menor acurácia rotacional, com valor de 63%.

A **Tabela 2** e as **Figuras 5 e 6** apresentam a distribuição das respostas obtidas por meio do questionário.

A **Tabela 3** apresenta os resultados do teste de comparações múltiplas aplicado às respostas do questionário. Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os seguintes pares de softwares, com base no teste de Dwass–Steel–Critchlow–Fligner: Nemotec × Archform, Nemotec × Meshmixer, Nemotec × Blue Sky Plan e Meshmixer × Blue Sky Plan.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A **Tabela 4** resume os coeficientes de correlação de Spearman entre os avaliadores do questionário. Foi identificada correlação moderada entre os avaliadores 1 e 2, bem como entre os avaliadores 2 e 3, enquanto uma correlação fraca foi observada entre os avaliadores 1 e 3.

A **Figura 7** ilustra os resultados da correlação de Spearman em relação aos softwares de planejamento. Observou-se correlação muito forte para os softwares Nemotec (0,83) e Archform (0,85) quanto às respostas dos avaliadores.

Tabela 1: Resultado da acurácia dos softwares de planejamento digital em ortodontia (N = 5)

Software	Translation movement (mm)		Accuracy (%)	Rotation movement (°)		Accuracy (%)
	Predicted	Achieved		Predicted	Achieved	
Nemotec	1.00	1.04	96.0	3.00	2.96	98.67
SureSmile Ortho	1.00	1.02	98.0	3.00	4.11	63.00
BlueSkyPlan	1.00	0.99	99.0	3.00	3.05	98.33
ArchForm	1.00	0.98	98.0	3.00	3.08	97.33
MeshMixer	1.00	1.02	98.0	3.00	3.04	98.67

Tabela 2: Resultado do teste de normalidade para as respostas do questionário (N=3):

Descritive analysis										
						Shapiro-Wilk		Percentile		
Measure	Software	Mean	Standard Deviation (SD)	Min	Max	W	p	25	50	75
	Nemotec	9,07	0,874	7	10	0,84	0,**001***	8,5	9	10
	Archform	6,07	2,526	0	10	0,93	0,055	5,5	6	8
	Meshmixer	5,33	2,465	0	9	0,89	0,**007***	4,5	6	7
	Blueskyplan	7,22	1,34	5	10	0,93	0,065	6	7	8

*Statistically significant for p<0.05.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

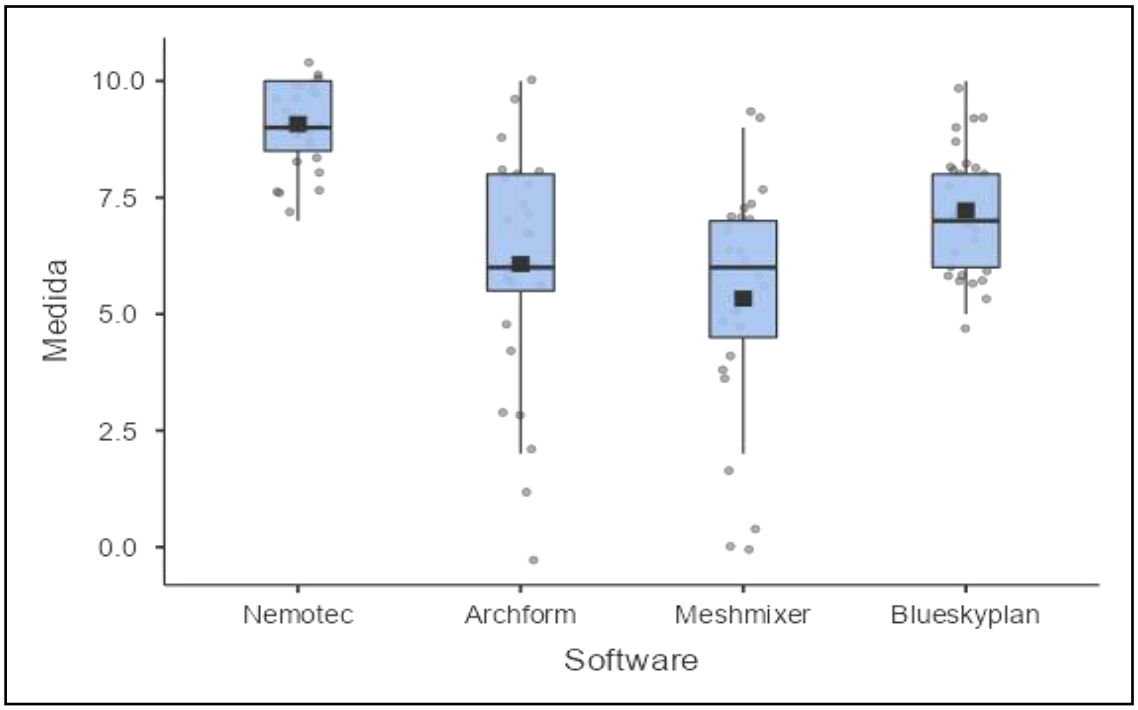


Figura 5. Distribuição amostral das respostas obtidas por meio do questionário.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CONTEMPORARY SCIENCE REVIEW21 ISSN 3086-3228

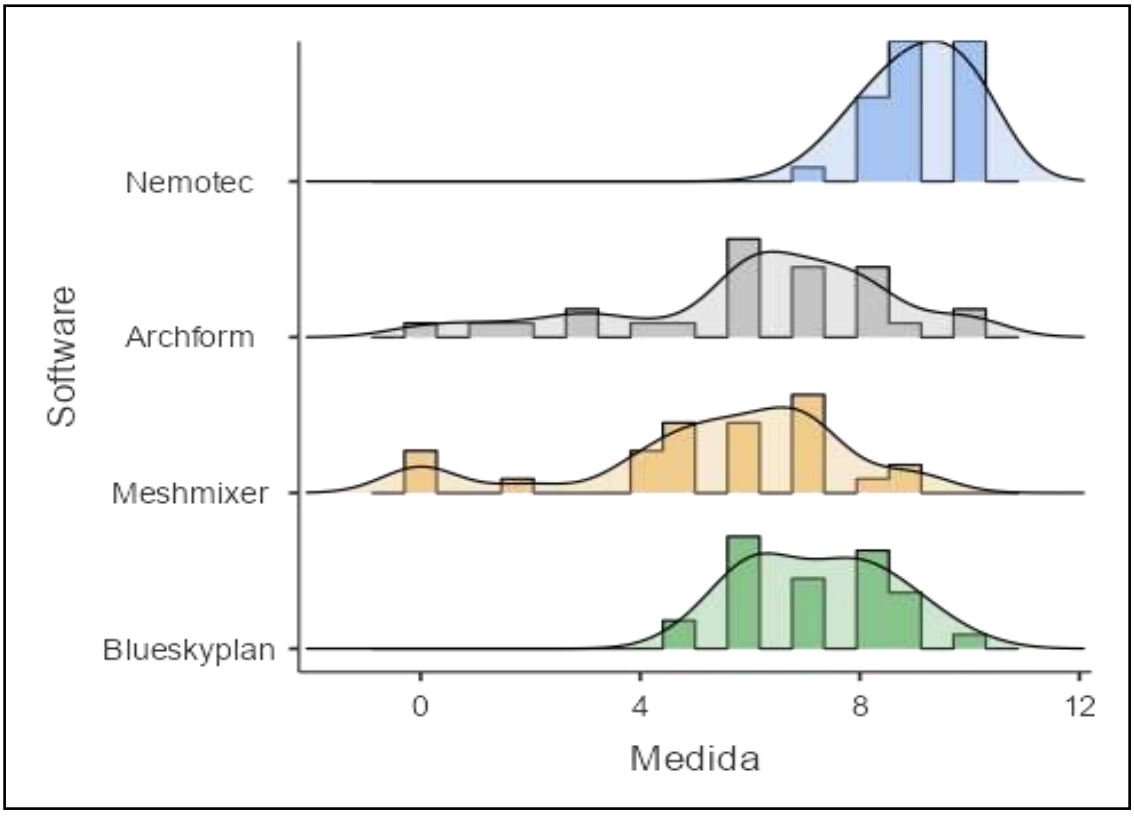


Figura 6. Distribuição amostral das respostas obtidas por meio do questionário

Tabela 3. Resultado do teste de comparações múltiplas para as respostas do questionário. (N=3):

Dwass-Steel-Critchlow-Fligner Multiple Comparisons			
		W	**p**
Nemotec	Archform	-7.11	**< .00001***
Nemotec	Meshmixer	-8.25	**< .00001***
Nemotec	Blueskyplan	-6.61	**0.00002***
Archform	Meshmixer	-1.81	0.57647
Archform	Blueskyplan	2.23	0.39045
Meshmixer	Blueskyplan	4.36	**0.01094***

*Statistically significant for p<0.05.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 4: Resultado do coeficiente de correlação de Spearman para os avaliadores dos questionários (N=3):

Spearman Correlation		
	Evaluator 2	Evaluator 3
Evaluator 1	0,55	0,46
Evaluator 2	---	0,65

Spearman's correlation coefficient is a number ranging from -1 to +1. The closer to the extremes (-1 or 1), the stronger the correlation. Values close to 0 mean weaker or non-existent correlations. *Statistically significant for p<0.05.

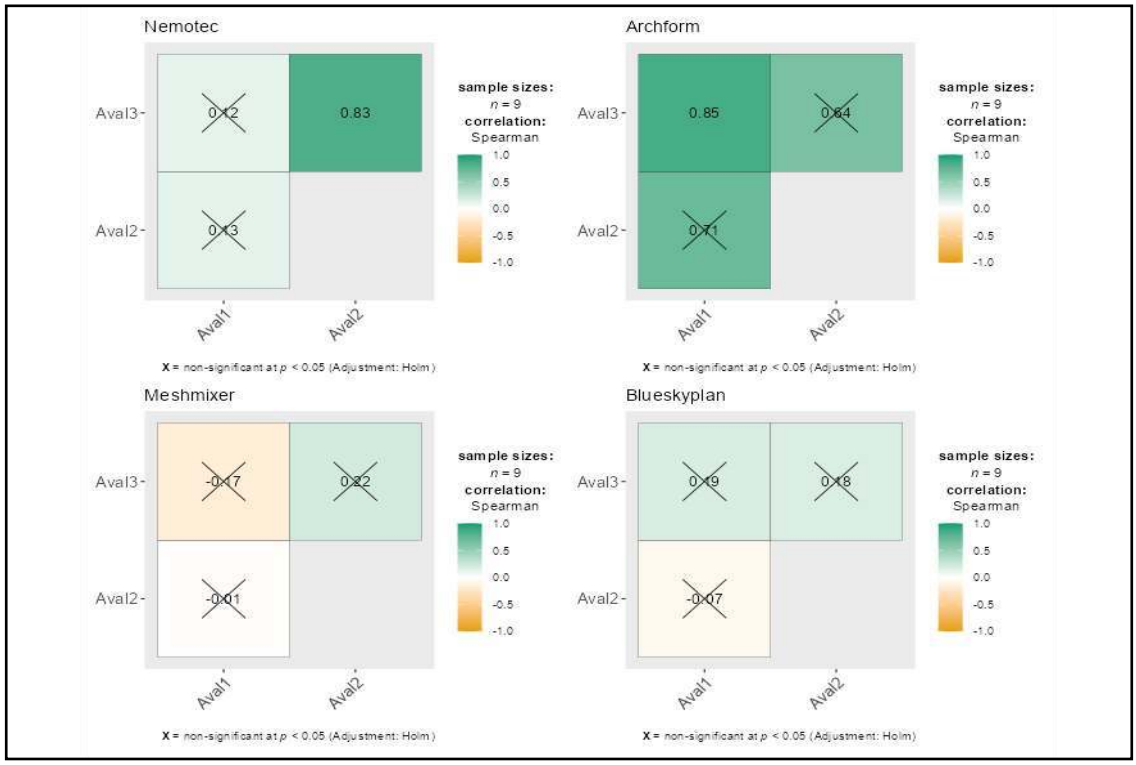


Figura 7. Resultados do coeficiente de correlação de Spearman para os softwares de planejamento.

Discussão

Os modelos de setup digital e a acurácia dos softwares de planejamento ortodôntico desempenham um papel central na previsão dos resultados do tratamento, no suporte à precisão diagnóstica e na orientação da tomada de decisão clínica. Quando integrados a registros

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

diagnósticos complementares — como fotografias clínicas e exames radiográficos —, o planejamento digital aprimora a avaliação da necessidade de extrações, a seleção do dente mais indicado para extração quando necessária e a definição de estratégias de ancoragem, tanto na terapia com alinhadores transparentes quanto na ortodontia convencional. Consequentemente, a confiabilidade dessas ferramentas digitais influencia diretamente a previsibilidade e a segurança do tratamento ortodôntico.

A crescente disponibilidade de softwares gratuitos de planejamento ortodôntico tem levantado importantes questionamentos quanto ao seu desempenho em comparação com plataformas pagas ou proprietárias. Embora o aumento da acessibilidade tenha favorecido sua ampla adoção na prática clínica, permanece fundamental determinar se essas ferramentas oferecem níveis comparáveis de confiabilidade, precisão e reprodutibilidade. Simulações virtuais imprecisas de movimentação dentária, relações oclusais ou respostas biomecânicas podem resultar em decisões inadequadas de planejamento, estágios de tratamento subótimos e desfechos clínicos comprometidos.

Investigações anteriores relatam de forma consistente que a movimentação dentária alcançada tende a ser inferior àquela prevista pelos sistemas de planejamento digital, independentemente da plataforma utilizada. Estudos conduzidos por Rossini et al. (2015), Papadimitriou et al. (2018) e Krieger et al. (2012) demonstraram discrepâncias entre os resultados planejados e os obtidos ao final do tratamento, enquanto Charalampakis et al. (2018) identificaram desvios significativos, especialmente nos movimentos de rotação. Em conjunto, esses achados reforçam a necessidade de estratégias de sobrecorreção e fases de refinamento durante a terapia com alinhadores, a fim de compensar limitações biológicas e biomecânicas.

Em contraste com esses relatos, o presente estudo demonstrou uma forte correlação positiva entre os movimentos previstos e os movimentos obtidos, tanto para translação quanto para rotação. Esse achado sugere que, dentro dos sistemas de planejamento digital avaliados, um maior deslocamento planejado esteve associado a um aumento proporcional do movimento efetivamente alcançado. Tais resultados sustentam a ideia de que, quando adequadamente planejados, movimentos lineares e rotacionais podem ser executados com um grau satisfatório de previsibilidade em diferentes plataformas de software ortodôntico.

De acordo com a literatura existente, os sistemas de alinhadores produzidos em consultório (in-house) parecem particularmente adequados para casos não complexos,

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

oferecendo uma alternativa custo-efetiva quando associados a fluxos de trabalho CAD–CAM confiáveis. No entanto, o sucesso do tratamento permanece fortemente dependente da acurácia do software de planejamento digital. Estudos prévios demonstraram que a movimentação dentária induzida por alinhadores ocorre frequentemente por inclinação coronária, em vez de movimento corporal, especialmente em dentes anteriores (Simon et al., 2016). Além disso, os protocolos de estadiamento exercem influência significativa sobre a eficiência dos movimentos; por exemplo, a rotação de pré-molares apresentou eficácia de 41,8% com 1,5° por alinhador, reduzindo-se para 23% com 2,5° por alinhador (Simon et al., 2016). Esses achados destacam a importância de um estadiamento conservador e de um planejamento digital preciso.

Uma contribuição distintiva da presente investigação reside na comparação entre softwares gratuitos e pagos de planejamento ortodôntico, um tema ainda pouco explorado na literatura. Contrariamente à expectativa de que sistemas programados matematicamente apresentariam resultados inerentemente superiores, os achados revelaram uma equivalência geral na acurácia da movimentação dentária entre as plataformas avaliadas. Essa observação sugere que a acurácia, isoladamente, não deve ser considerada o principal critério na escolha de um software de planejamento ortodôntico.

Em vez disso, fatores relacionados à usabilidade clínica — incluindo design da interface, ferramentas de planejamento, integração ao fluxo de trabalho, conectividade, curva de aprendizado e custo — podem exercer influência mais decisiva na seleção do software. Embora todos os sistemas avaliados tenham apresentado desempenho equilibrado, observou-se uma leve vantagem para o software Nemotec, especialmente no que se refere à percepção profissional e à aplicabilidade clínica.

Apesar dos avanços na automação digital, a experiência do clínico permanece um fator determinante para o sucesso do tratamento. A compreensão aprofundada do fluxo de trabalho digital é essencial para a escolha do software de planejamento mais adequado e da abordagem de fabricação de alinhadores. Conforme destacado por Pimentel et al. (2023), muitas plataformas contemporâneas incorporam inteligência artificial (IA) a processos que anteriormente dependiam da expertise manual. Embora a IA tenha potencial para aumentar a eficiência, reduzir a variabilidade e auxiliar no diagnóstico e na geração de setups (Woo et al., 2023), esses sistemas operam com base em pressupostos algorítmicos que podem simplificar excessivamente cenários

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

clínicos complexos ou biologicamente imprevisíveis. Assim, um setup digital visualmente ideal nem sempre representa o plano de tratamento mais eficiente ou biologicamente compatível.

Plataformas de software gratuitas ou de código aberto podem oferecer vantagens específicas quando o clínico possui habilidades técnicas para operar múltiplos sistemas e adaptar os fluxos de trabalho conforme a complexidade do caso. Por outro lado, plataformas pagas baseadas em IA também não estão isentas da necessidade de intervenção manual. Woo et al. (2023) enfatizaram que a segmentação automática dos dentes depende fortemente da aquisição adequada de dados de superfície, sendo que escaneamentos incompletos podem comprometer a acurácia do modelo. Além disso, modificações no plano oclusal durante fluxos de trabalho automáticos ou semiautomáticos podem alterar as relações dentárias programadas e afetar a análise dos movimentos, especialmente em casos que envolvem discrepâncias esqueléticas.

Apesar dessas limitações, os softwares ortodônticos de código aberto continuam a evoluir, incorporando funcionalidades cada vez mais sofisticadas e contribuindo para a progressiva digitalização da prática ortodôntica. Pesquisas contínuas que avaliem a acurácia, a previsibilidade e a validade clínica dos softwares de planejamento digital permanecem essenciais para garantir que as simulações virtuais reflitam de forma fidedigna a realidade clínica, favorecendo um planejamento mais confiável e melhores desfechos em longo prazo.

Relevância clínica

Uma das principais inovações do presente estudo reside na comparação direta e sistemática da acurácia de softwares gratuitos e pagos de planejamento digital em ortodontia, um aspecto que tem recebido atenção limitada na literatura existente.

Enquanto investigações anteriores concentraram-se predominantemente na previsibilidade de sistemas específicos de alinhadores ou nas discrepâncias entre movimentos dentários planejados e obtidos, poucos estudos avaliaram se os modelos econômicos e de licenciamento dos softwares ortodônticos influenciam a precisão do setup digital.

Ao demonstrar níveis comparáveis de acurácia nos movimentos de translação e rotação entre plataformas gratuitas e proprietárias, este estudo desafia a suposição de que sistemas comerciais de maior custo ofereçam, inerentemente, previsibilidade biomecânica superior.

Esses achados fornecem evidências adicionais para uma seleção mais racional e baseada em evidências dos softwares de planejamento digital, enfatizando que os resultados

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

clínicos não dependem exclusivamente do custo ou da marca do software, mas sobretudo da qualidade do planejamento, da integração do fluxo de trabalho e da expertise do clínico.

Conclusão

Com base na metodologia adotada neste estudo, podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- Os movimentos de translação dentária apresentaram níveis consistentemente elevados de precisão em todos os softwares avaliados, com valores de acurácia superiores a 96%;
- A maioria dos softwares demonstrou alta acurácia para os movimentos de rotação dentária (valores superiores a 97%); entretanto, o software SureSmile Ortho apresentou desempenho inferior para esse tipo de movimento;
- No que se refere à percepção dos clínicos quanto à usabilidade e aos recursos disponíveis para o planejamento, o software Nemotec obteve as maiores avaliações em termos de aplicabilidade e diversidade de ferramentas.

REFERÊNCIAS

Sachdev S, Tantidhnazet S, Saengfai NN. Accuracy of tooth movement with in– house clear aligners. J World Fed Orthod 2021;10:177–82.

Gao L, Wichelhaus A. Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. Angle Orthod 2017;87(4):534–41.

Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rozsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. Angle Orthod 2015;85(6):934–40.

Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. Angle Orthod 2017;87(1):11–18

Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G . Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. Prog Orthod 2017;18(1):35.

Tepedino M, Paoloni V, Cozza P , Chimenti C . Movement of anterior teeth using clear aligners: a three-dimensional, retrospective evaluation. Prog Orthod 2018;19(1):1–8 .

Kesling, Harold D. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. *Am J of Orthod and Oral Surg*, 1946, 32.5: 285-293

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Kesling, Harold D. The diagnostic setup with consideration of the third dimension. Am J Orthod, 1956, 42.10: 740-748.

Peluso, Matthew J., et al. Digital models: an introduction. In: *Seminars in Orthodontics*. WB Saunders, 2004. p. 226-238.

Barreto, Monica S., et al. Reliability of digital orthodontic setups. *Angle Orthod*, 2016, 86.2: 255-259.

Im, Joon, et al. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2014, 145.4: 434-442.

Choi DS, Jeong YM , Jang I , Jost-Brinkmann PG , Cha BK . Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. Angle Orthod 2010;80(4):497–503.

Park T-J , Lee S-H , Lee K-S . A method for mandibular dental arch superimposi- tion using 3D cone beam CT and orthodontic 3D digital model. Korean J Orthod 2012;42(4):169–81.

Rossini G , Parrini S , Castroflorio T , Deregibus A , Debernardi CL . Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. Angle Orthod 2015;85(5):881–9.

Papadimitriou A , Mousoulea S , Gkantidis N , Kloukos D . Clinical effective- ness of Invisalign®orthodontic treatment: a systematic review. Prog Orthod 2018;19(1):37.

Krieger E , Seiferth J , Marinello I , Jung BA , Wriedt S , Jacobs C , et al. Invisalign®treatment in the anterior region. J Orofac Orthop 2012;73(5):365–76.

Charalampakis O , Iliadi A , Ueno H , Oliver DR , Kim KB . Accuracy of clear align- ers: A retrospective study of patients who needed refinement. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2018;154(1):47–54.

Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and force delivery of invisible aligners: Influence of staging. J Orofac Orthop. 2016;77(6):432-41.

Pimentel A, Machado Neto M, Matias M, Nahás ACR, Patel MP, Maltagliati LA. Passo a passo do planejamento digital para confecção de alinhadores ortodônticos in Office. Orthod. Sci. Pract. 2023; 16(63):94-104.

Woo, H., Jha, N., Kim, Y. J., Sung, S. J. Evaluating the accuracy of automated orthodontic digital setup models. Seminars in Orthodontics. 2023;29(1):60-67.

ISSN: 3086-3228
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.