

Avaliação da estabilidade morfométrica da ranhura de braquetes metálicos por microscopia óptica

Evaluation of the morphometric stability of the slot of metal orthodontic brackets using optical microscopy

Evaluación de la estabilidad morfométrica de la ranura de brackets metálicos mediante microscopía óptica

Recebido: 27/01/2026 | Revisado: 09/03/2026 | Aceitado: 10/03/2026 | Publicado: 12/03/2026

Annie de J. Rosales Leyva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1373-1764>
Independent Researcher, United States
E-mail: rosalesleyvaannie@gmail.com

Lizbeth Rivero Paredes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9635-1645>
Independent Researcher, United States
E-mail: lizabethrivero01@gmail.com

Any L. Muñoz Vargas

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1385-7093>
Independent Researcher, United States
E-mail: Anymv01@gmail.com

Richard M. Cavero Gomez

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4716-7084>
Independent Researcher, United States
E-mail: richardm_cavero007@hotmail.com

Jhonny A. Montoya Alvarez

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1500-9786>
Independent Researcher, United States
E-mail: jhonnvalvarez93@icloud.com

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade morfométrica das ranhuras de braquetes metálicos de diferentes marcas comerciais por meio de microscopia óptica. Foi realizado um estudo experimental *in vitro*, no qual foram avaliados 24 braquetes metálicos para incisivos centrais superiores direitos com ranhura de 0,022" × 0,028", pertencentes a três marcas comerciais: American Orthodontics®, Morelli® Roth e Azdent®. As dimensões da ranhura em altura, profundidade e largura foram mensuradas por meio de microscopia óptica de alta precisão. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e inferencial, incluindo o teste de Shapiro–Wilk, análise de variância (ANOVA) e teste post hoc de Tukey, adotando-se nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que todas as marcas apresentaram ranhuras superdimensionadas em relação aos valores nominais declarados pelos fabricantes, com diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para todas as dimensões avaliadas ($p < 0,05$). Conclui-se que as ranhuras dos braquetes avaliados não apresentaram plena conformidade dimensional, evidenciando variações morfométricas entre as marcas analisadas. A microscopia óptica demonstrou ser um método eficaz e confiável para avaliar a estabilidade morfométrica desses dispositivos, destacando a necessidade de maior controle de qualidade nos processos de fabricação dos braquetes ortodônticos.

Palavras-chave: Ortodontia; Aparelhos Ortodônticos; Morfometria; Microscopia Óptica.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the morphometric stability of the slots of metal orthodontic brackets from different commercial brands using optical microscopy. An *in vitro* experimental study was conducted in which 24 metal brackets for maxillary right central incisors with a 0.022" × 0.028" slot were evaluated, belonging to three commercial brands: American Orthodontics®, Morelli® Roth, and Azdent®. The slot dimensions in height, depth, and width were measured using high-precision optical microscopy. The data were subjected to descriptive and inferential statistical analysis, including the Shapiro–Wilk test, analysis of variance (ANOVA), and Tukey post hoc test, adopting a significance level of 5%. The results showed that all brands presented oversized slot dimensions compared with the nominal values declared by the manufacturers, with statistically significant differences among the groups for all evaluated dimensions ($p < 0.05$). it was concluded that the slots of the evaluated brackets did not present

full dimensional conformity, revealing morphometric variations among the analyzed brands. optical microscopy proved to be an effective and reliable method for evaluating the morphometric stability of these devices, highlighting the need for stricter quality control in orthodontic bracket manufacturing processes.

Keywords: Orthodontics; Orthodontic Appliances; Morphometry; Optical Microscopy.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la estabilidad morfométrica de las ranuras de brackets metálicos de diferentes marcas comerciales mediante microscopía óptica. Se realizó un estudio experimental in vitro en el que se evaluaron 24 brackets metálicos para incisivos centrales superiores derechos con ranura de $0,022'' \times 0,028''$, pertenecientes a tres marcas comerciales: American OrthodonticS®, Morelli® Roth Y Azdent®. Las dimensiones de la ranura en la altura, la profundidad y el ancho, fueron medidas mediante microscopía óptica de alta precisión. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo e inferencial, incluyendo la prueba de Shapiro–Wilk, análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los resultados demostraron que todas las marcas presentaron ranuras sobredimensionadas en relación con los valores nominales declarados por los fabricantes, con diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para todas las dimensiones evaluadas ($p < 0,05$). se concluye que las ranuras de los brackets evaluados no presentaron plena conformidad dimensional, evidenciándose variaciones morfométricas entre las marcas analizadas. la microscopía óptica demostró ser un método eficaz y confiable para evaluar la estabilidad morfométrica de estos dispositivos, destacando la necesidad de un mayor control de calidad en los procesos de fabricación de los brackets ortodóncicos.

Palabras clave: Ortodoncia; Aparatos Ortodónticos; Morfometría; Microscopía Óptica.

1. Introdução

A ortodontia é a especialidade odontológica responsável pela prevenção, diagnóstico e tratamento das más oclusões por meio da utilização de aparelhos fixos e removíveis. A movimentação dentária ortodôntica ocorre fundamentalmente pela aplicação de forças mecânicas controladas, transmitidas pela interação entre braquetes e arcos ortodônticos. Nesse contexto, a precisão dos componentes do aparelho fixo é essencial para garantir a previsibilidade biomecânica e o sucesso clínico do tratamento ortodôntico (Meling et al., 1998; Stone & Allen, 2004).

Atualmente, os braquetes metálicos convencionais continuam sendo amplamente utilizados na prática clínica, apesar da grande diversidade de sistemas disponíveis no mercado. Esses dispositivos variam quanto ao material, desenho das aletas, dimensões da ranhura (slot), prescrições e mecanismos de ligadura, fatores que podem influenciar diretamente o atrito, a expressão do torque e o controle tridimensional dos dentes (Joch et al., 2010; Dolci et al., 2013). Historicamente, Angle introduziu, em 1928, o sistema edgewise com ranhura de 0,022 polegadas, inicialmente projetado para fios de ouro. Posteriormente, Steiner adotou braquetes com ranhura de 0,018 polegadas, buscando reduzir os efeitos adversos associados ao uso de fios de aço inoxidável mais rígidos (Meling & Ødegaard, 1998).

A evolução dos aparelhos ortodônticos consolidou o uso clínico de dois tamanhos padronizados de ranhura, 0,018 polegadas (0,4572 mm) e 0,022 polegadas (0,559 mm), cuja diferença dimensional, embora pequena, é clinicamente relevante. Essa distinção torna-se ainda mais significativa em um contexto científico baseado no sistema métrico, no qual a precisão micrométrica é fundamental para a correta transmissão das forças ortodônticas (Tangri et al., 2012; Pai et al., 2011).

Os fatores que influenciam a movimentação ortodôntica podem ser classificados em biológicos e mecânicos. Entre os fatores mecânicos, destacam-se o material do braquete, o fio ortodôntico e, sobretudo, as dimensões e a geometria da ranhura do braquete. A ranhura é responsável por acomodar o arco ortodôntico e permitir a adequada expressão das informações de torque e angulação. No entanto, falhas no processo de fabricação podem resultar em ranhuras superdimensionadas ou com falta de paralelismo, comprometendo a eficiência biomecânica do sistema (Bhalla et al., 2010; Pérez et al., 2014).

Diversos estudos demonstraram discrepâncias significativas entre as dimensões das ranhuras declaradas pelos fabricantes e as medidas reais observadas experimentalmente. Cash et al. (2004) relataram que a maioria dos braquetes avaliados apresentava ranhuras maiores do que as especificadas, com variações percentuais relevantes. Essas inconsistências

afetam diretamente a expressão do torque ortodôntico, uma vez que a folga entre o arco e a ranhura reduz a transmissão efetiva das forças planejadas (Meling et al., 1993; Creekmore & Kunik, conforme citado em Joch et al., 2010).

Com o objetivo de padronizar essas variações dimensionais, normas internacionais como a DIN 13971-2 foram estabelecidas para regular as dimensões nominais e os limites de tolerância dos braquetes ortodônticos. De acordo com essa norma, o limite máximo de tolerância permitido para a ranhura é de 0,04 mm, o que estabelece, para braquetes com ranhura de 0,022 polegadas, uma faixa aceitável entre 0,519 mm e 0,599 mm (Demling et al., 2009; Dolci et al., 2013).

Nos últimos anos, diferentes metodologias têm sido empregadas para avaliar a morfometria das ranhuras dos braquetes, incluindo microscopia eletrônica de varredura, microtomografia computadorizada (micro-CT), estereomicroscopia e microscopia óptica. Entre essas técnicas, a microscopia óptica destaca-se por sua precisão, reprodutibilidade e ampla aplicabilidade em estudos laboratoriais (Nahidh et al., 2024; Al-Groosh et al. 2024). Estudos recentes também têm investigado a precisão dimensional das ranhuras de braquetes ortodônticos e sua conformidade com as especificações dos fabricantes, evidenciando variações relevantes que podem influenciar a expressão do torque e a eficiência biomecânica do tratamento ortodôntico (Nahidh et al., 2024; Al-Groosh et al. 2024).

Considerando que os fabricantes raramente informam os métodos de medição e os limites de tolerância aplicados às dimensões das ranhuras em seus catálogos, torna-se fundamental avaliar experimentalmente a estabilidade morfométrica desses dispositivos. Ranhuras com dimensões imprecisas ou geometria inadequada podem comprometer o controle tridimensional dentário e, conseqüentemente, os resultados clínicos do tratamento ortodôntico. Dessa forma, estudos que avaliem a conformidade dimensional de braquetes metálicos disponíveis no mercado são de grande relevância científica e clínica.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade morfométrica das ranhuras de braquetes metálicos de diferentes marcas comerciais, utilizando microscopia óptica.

2. Materiais e Métodos

O presente estudo experimental *in vitro* de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018), com uso de estatística descritiva com gráficos de colunas, classes de dados, valores de média e desvio padrão (Shitsuka et al., 2014) e de análise estatística (Vieira, 2021), foi realizado após autorização para utilização das instalações do OralGram Laboratory Certificate S.A.C., onde foram preparadas as amostras e conduzidas as análises morfométricas por meio de microscopia óptica.

Foram selecionados 24 braquetes metálicos para incisivos centrais superiores direitos, com ranhura de 0,022" × 0,028", provenientes de três marcas comerciais distintas: American Orthodontics® (Estados Unidos), Morelli® Roth (Brasil) e Azdent® (China). Todos os braquetes pertenciam ao mesmo lote de fabricação e foram adquiridos por meio do distribuidor autorizado da American Orthodontics no Peru e da DentoShop Peru. As amostras foram distribuídas aleatoriamente em três grupos experimentais, correspondentes às marcas avaliadas. Após a randomização, os braquetes foram armazenados individualmente em placas de Petri identificadas e codificadas, a fim de evitar vieses ou erros de identificação durante o processo de análise.

Previamente à coleta definitiva dos dados, foi conduzido um estudo piloto com 10% das amostras de cada grupo, com o objetivo de verificar a viabilidade dos protocolos de medição e a confiabilidade dos instrumentos utilizados. A precisão das mensurações foi examinada mediante a aplicação do coeficiente de correlação intraclassa (CCI), que apresentou valores entre 0,80 e 1,00, indicando excelente concordância intraexaminador. Todas as medições foram realizadas sob a supervisão de um engenheiro mecânico especialista em ensaios mecânicos, credenciado por laboratório de alta tecnologia.

As análises morfométricas foram realizadas utilizando um microscópio de medição Carl Zeiss (Jena, Alemanha), com precisão de 0,001 mm (1 μ m). Para a avaliação, cada braquete foi cuidadosamente posicionado sobre a lâmina do microscópio com auxílio de um suporte específico, assegurando que a ranhura estivesse corretamente orientada nos planos vertical e transversal, bem como que o eixo óptico do microscópio permanecesse paralelo ao eixo longitudinal da ranhura.

Foram mensuradas as seguintes dimensões da ranhura do braquete: largura superior (A), altura da ranhura (B), largura da ranhura (C) e profundidade da ranhura. Para cada variável, foram realizadas três leituras consecutivas, e a média aritmética foi considerada como o valor morfométrico final para cada espécime. Todos os dados obtidos foram registrados em um formulário padronizado de coleta e posteriormente organizados em planilhas do Microsoft Excel®, identificando-se o grupo experimental e o número correspondente de cada amostra.

Plano de Análise Estatística

Para a interpretação dos dados, foram aplicadas análises estatísticas de natureza descritiva e inferencial, levando em conta as variáveis morfométricas relacionadas à ranhura dos braquetes metálicos. Inicialmente, foram calculadas médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos para cada variável em todos os grupos experimentais. A distribuição dos dados foi examinada quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro–Wilk, método recomendado para amostras de pequeno e médio porte. Diante da confirmação da distribuição normal, procedeu-se à análise inferencial paramétrica.

Para a comparação das médias entre os três grupos independentes, foi conduzida utilizando a análise de variância de um fator (ANOVA one-way), com o objetivo de identificar diferenças estatisticamente significativas entre as marcas de braquetes avaliadas. Na presença de significância estatística, aplicou-se o teste post hoc de Tukey para realizar comparações múltiplas entre os grupos avaliados. O nível de significância estabelecido foi de 5% ($\alpha = 0,05$), equivalente a um intervalo de confiança de 95%. Todo o processamento estatístico foi realizado no software IBM SPSS Statistics, versão 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

3. Resultados

A seguir, a Tabela 1 apresenta dados da análise descritiva das dimensões morfométricas das ranhuras dos braquetes metálicos avaliados.

Tabela 1 - Análise descritiva das dimensões morfométricas das ranhuras dos braquetes metálicos (mm).

Grupo / Marca	Altura (mm) Média $\pm$ DP	Profundidade (mm) Média $\pm$ DP	Largura (mm) Média $\pm$ DP
G1 – American Orthodontics®	0,609 $\pm$ 0,010	0,679 $\pm$ 0,006	0,859 $\pm$ 0,011
G2 – Morelli® Roth	0,618 $\pm$ 0,009	0,724 $\pm$ 0,013	0,837 $\pm$ 0,009
G3 – Azdent®	0,581 $\pm$ 0,008	0,732 $\pm$ 0,023	0,906 $\pm$ 0,018

DP: desvio-padrão / n = 8 braquetes por grupo. Fonte: Dados da pesquisa (2026).

A análise descritiva das dimensões morfométricas da ranhura dos braquetes metálicos avaliados encontra-se apresentada na Tabela 1, que reúne os valores médios e os respectivos desvios-padrão para as variáveis altura, profundidade e largura, de acordo com cada grupo experimental.

De maneira geral, observou-se que todas as marcas apresentaram dimensões da ranhura superiores às especificadas nominalmente, evidenciando um padrão de superdimensionamento. A análise de variância de um fator (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para todas as dimensões avaliadas ($p < 0,05$), indicando ausência de uniformidade morfométrica entre as marcas analisadas.

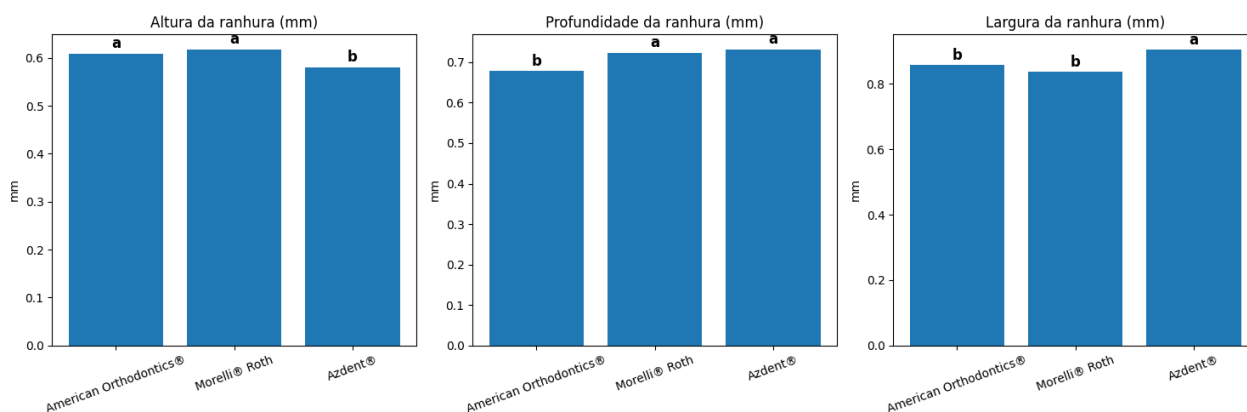
Em relação à altura da ranhura, o grupo G2 (Morelli® Roth) apresentou a maior média, seguido pelo grupo G1 (American Orthodontics®), enquanto o grupo G3 (Azdent®) apresentou os menores valores médios. A análise post hoc de Tukey apontou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos estudados G2 e G3, bem como entre G1 e G3 ($p < 0,05$), enquanto não foram observadas diferenças significativas entre G1 e G2 para essa variável.

Quanto à profundidade da ranhura, verificou-se um aumento progressivo dos valores médios do grupo G1 para os grupos G2 e G3. As comparações múltiplas indicaram diferenças estatisticamente significativas entre G1 e G2, assim como entre G1 e G3 ($p < 0,05$). Além disso, o grupo G3 (Azdent®) apresentou maior dispersão dos dados, refletida pelo desvio-padrão mais elevado.

No que se refere à largura da ranhura, o grupo G3 (Azdent®) apresentou os maiores valores médios, enquanto o grupo G2 (Morelli® Roth) exibiu os menores valores. O teste de Tukey evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre G3 e G1, bem como entre G3 e G2 ($p < 0,05$). Por outro lado, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre G1 e G2 para essa dimensão específica.

De forma adicional, a análise da variabilidade dimensional demonstrou que os braquetes do grupo G3 (Azdent®) apresentaram maior variabilidade morfométrica, especialmente para as dimensões de profundidade e largura, conforme indicado pelos maiores desvios-padrão observados. Em contraste, os grupos G1 (American Orthodontics®) e G2 (Morelli® Roth) exibiram maior homogeneidade dimensional.

Figura 1 - Comparação morfométrica das ranhuras entre as marcas de braquetes.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

A Figura 1, ilustram graficamente as diferenças observadas entre os grupos para as dimensões de altura, profundidade e largura da ranhura, respectivamente, corroborando os achados estatísticos descritos.

4. Discussão

A precisão dimensional da ranhura dos braquetes ortodônticos constitui um fator crítico para a adequada transmissão das forças ortodônticas e para a expressão correta das prescrições de torque e angulação durante o tratamento. Os resultados do

presente estudo demonstraram que as dimensões morfométricas da ranhura variaram significativamente entre as marcas avaliadas, confirmando a ausência de padronização dimensional entre sistemas comerciais de braquetes metálicos.

Estudos recentes têm reforçado a relevância da avaliação da precisão dimensional das ranhuras dos braquetes ortodônticos. Nahidh et al. (2024), ao utilizarem microscopia eletrônica de varredura para investigar a precisão de diferentes sistemas de braquetes, as medições experimentais evidenciaram diferenças relevantes em relação às dimensões nominais indicadas pelos fabricantes. De maneira semelhante, Al-Groosh et al. (2024) relataram que variações nas tolerâncias dimensionais das ranhuras podem influenciar diretamente a expressão do torque ortodôntico e o desempenho biomecânico do sistema braquete-arco. Além disso, revisões recentes sobre o desenvolvimento tecnológico de braquetes ortodônticos destacam que a precisão geométrica das ranhuras continua sendo um fator crítico para a eficiência clínica dos aparelhos ortodônticos (Koaban, 2025). Esses achados corroboram os resultados do presente estudo, que também identificou variações morfométricas relevantes entre as marcas avaliadas.

A análise estatística revelou que todas as marcas apresentaram ranhuras superdimensionadas em relação aos valores nominais especificados pelos fabricantes, corroborando achados previamente descritos na literatura. Estudos clássicos e contemporâneos têm relatado discrepâncias semelhantes, indicando que a maioria dos braquetes disponíveis comercialmente apresenta dimensões da ranhura superiores às declaradas, o que pode comprometer a eficiência biomecânica do sistema ortodôntico (Cash et al., 2004; Stone & Allen, 2004; Bhalla et al., 2010).

No presente estudo, a variável altura da ranhura apresentou diferenças estatisticamente significativas, com valores inferiores observados nos braquetes Azdent® em comparação às marcas American Orthodontics® e Morelli® Roth. Esses achados estão de acordo com investigações que apontam que variações na altura da ranhura podem resultar em perda de controle do torque, uma vez que o arco ortodôntico não preenche completamente o slot, aumentando a folga entre os componentes (Meling et al., 1993; Joch et al., 2010).

Em relação à profundidade da ranhura, observou-se um aumento progressivo dos valores médios do grupo American Orthodontics® para os grupos Morelli® Roth e Azdent®, sendo que este último apresentou maior variabilidade dimensional. Essa maior dispersão sugere inconsistências no processo de fabricação, aspecto também relatado por Demling et al. (2009) e Dolci et al. (2013), que destacaram que a profundidade da ranhura é uma das dimensões mais suscetíveis a variações durante a manufatura dos braquetes.

Quanto à largura da ranhura, os braquetes Azdent® apresentaram valores significativamente superiores aos observados nas demais marcas, enquanto os braquetes Morelli® Roth exibiram as menores médias. Resultados semelhantes foram descritos por Tangri et al. (2012) e Pérez et al. (2014), que observaram diferenças significativas na largura das ranhuras entre marcas comerciais, associando tais variações à falta de controle rigoroso das tolerâncias dimensionais durante a produção.

A maior variabilidade morfométrica observada nos braquetes Azdent®, evidenciada pelos maiores desvios-padrão nas dimensões de profundidade e largura, indica menor uniformidade geométrica quando comparada às marcas American Orthodontics® e Morelli® Roth. Esses achados reforçam a relevância das normas internacionais, como a DIN 13971-2, que estabelecem limites de tolerância para as dimensões das ranhuras, visando minimizar variações que possam impactar negativamente o desempenho clínico dos sistemas ortodônticos (Demling et al., 2009).

Adicionalmente, a maior similaridade morfométrica observada entre os braquetes American Orthodontics® e Morelli® Roth para determinadas dimensões sugere maior consistência dimensional entre essas marcas, o que pode estar relacionado a processos de fabricação mais controlados. Contudo, mesmo nesses sistemas, as ranhuras apresentaram valores superiores aos nominais, evidenciando que a conformidade total com os padrões estabelecidos ainda representa um desafio para a indústria ortodôntica.

Entre as limitações do presente estudo, destaca-se o tamanho amostral e a avaliação restrita a braquetes para incisivos centrais superiores, o que pode limitar a generalização dos resultados para outros tipos de braquetes ou prescrições. Além disso, não foram avaliados parâmetros clínicos diretos, como a expressão efetiva do torque ou o atrito durante a movimentação dentária, os quais poderiam complementar a interpretação dos achados laboratoriais.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos fornecem evidências consistentes de que variações morfométricas significativas ainda persistem entre marcas de braquetes metálicos disponíveis comercialmente, reforçando a importância de estudos laboratoriais que avaliem a precisão dimensional desses dispositivos. Tais informações são fundamentais para auxiliar o ortodontista na escolha de sistemas mais confiáveis e para incentivar a adoção de processos de fabricação mais rigorosos por parte dos fabricantes.

5. Conclusão

Os resultados do presente estudo demonstraram que as ranhuras dos braquetes metálicos avaliados apresentaram variações morfométricas significativas entre as marcas analisadas, com dimensões superiores às especificadas nominalmente pelos fabricantes. A análise estatística evidenciou diferenças estatisticamente significativas para as dimensões de altura, profundidade e largura da ranhura, indicando ausência de padronização dimensional entre os sistemas comerciais avaliados.

Os braquetes Azdent® apresentaram maior variabilidade morfométrica, especialmente para as dimensões de profundidade e largura, enquanto os braquetes American Orthodontics® e Morelli® Roth demonstraram maior homogeneidade dimensional e maior similaridade entre si para algumas variáveis específicas. No entanto, mesmo essas marcas não atenderam integralmente às dimensões nominais esperadas, evidenciando a persistência de discrepâncias relacionadas aos processos de fabricação.

Esses achados reforçam a importância da avaliação morfométrica das ranhuras dos braquetes ortodônticos, uma vez que variações dimensionais podem comprometer a expressão adequada do torque e o controle tridimensional durante o tratamento ortodôntico. Além disso, os resultados destacam a necessidade de maior rigor no controle de qualidade industrial e de maior transparência por parte dos fabricantes quanto às tolerâncias dimensionais adotadas.

Dessa forma, conclui-se que a microscopia óptica constitui uma ferramenta eficaz e confiável para a avaliação da estabilidade morfométrica das ranhuras dos braquetes metálicos, contribuindo para a seleção mais criteriosa de sistemas ortodônticos e para o aprimoramento dos padrões de fabricação desses dispositivos.

Referências

- Al-Groosh, D. H., Albarkheel, A., & Aftan, N. L. (2024). Comparison of slot tolerance with manufacturing measurements of different stainless steel self-ligating brackets. *Journal of Baghdad College of Dentistry*, 36(4).
- Bhalla, N. B., Good, S. A., McDonald, F., Sherriff, M., & Cash, A. C. (2010). Assessment of slot sizes in self-ligating brackets using electron microscopy. *Australian Orthodontic Journal*, 26(1), 38–41.
- Cash, A. C., Good, S. A., Curtis, R. V., & McDonald, F. (2004). An evaluation of slot size in orthodontic brackets—Are standards as expected? *Angle Orthodontist*, 74(4), 450–453. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0450:AEOSST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0450:AEOSST>2.0.CO;2)
- Demling, A., Dittmer, M. P., & Schwestka-Polly, R. (2009). Comparative analysis of slot dimension in lingual bracket systems. *Head & Face Medicine*, 5, 27. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-5-27>
- Dolci, G. S., Spohr, A. M., Zimmer, E. R., & Marchioro, E. M. (2013). Assessment of the dimensions and surface characteristics of orthodontic wires and bracket slots. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 18(2), 69–75. <https://doi.org/10.1590/S2176-94512013000200011>
- Joch, A., Pichelmayer, M., & Weiland, F. (2010). Bracket slot and archwire dimensions: Manufacturing precision and third-order clearance. *Journal of Orthodontics*, 37(4), 241–249. <https://doi.org/10.1179/14653121043201>
- Meling, T. R., Ødegaard, J., & Meling, E. (1993). A theoretical evaluation of the influence of variation in bracket slot height and wire rounding on the amount of torsional play between bracket and wire. *Kieferorthopädie Mitteilungen*, 7(1), 41–48.

- Meling, T. R., & Ødegaard, J. (1998). On bracket slot height: A methodological study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 113(4), 387–393. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70219-1](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70219-1)
- Nahidh, M., Yassir, Y. A., Marrapodi, M. M., Di Blasio, M., Ronsivalle, V., Cicciù, M., & Minervini, G. (2024). A scanning electron microscopy investigation of the precision of three orthodontic bracket slot systems. *BMC Oral Health*, 24(1), 221. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03909-7>
- Pai, V. S., Pai, S. S., Krishna, S., & Swetha, M. (2011). Evaluation of slot size in orthodontic brackets: Are standards as expected? *Journal of Indian Orthodontic Society*, 45(3), 169–174.
- Pérez, L. E. M., Díaz, R. R., Botello, G. R., & Olvera, S. P. (2014). Slot tolerance from three different commercial brands of brackets. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, 2(1), 38–41.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria: Editora UFSM.
- Shitsuka, R., Shitsuka, D. M., & Pereira, A. S. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia* (2ª ed.). São Paulo: Editora Érica.
- Stone, A. C., & Allen, S. A. (2004). An evaluation of slot size in orthodontic brackets—Are standards as expected? *Angle Orthodontist*, 74(4), 450–453.
- Tangri, K., Kumar, P., Sharma, P., Kumar, K., Bagga, D. K., & Sharma, R. (2012). A comparison of the accuracy of 0.022 slots at face, base, mesial and distal surfaces of brackets marketed by different manufacturers. *Journal of Indian Orthodontic Society*, 46(3), 132–136.
- Vieira, S. (2021). *Introdução à bioestatística*. Rio de Janeiro: GEN/Guanabara Koogan.
- Yassir, Y. A., El-Angbawi, A. M., McIntyre, G. T., Revie, G. F., & Bearn, D. R. (2018). A randomized clinical trial of the effectiveness of 0.018-inch and 0.022-inch slot orthodontic bracket systems: Part 2—Quality of treatment. *European Journal of Orthodontics*, 41(2), 143–153. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjy037>
- Yassir, Y. A., McIntyre, G. T., El-Angbawi, A. M., & Bearn, D. R. (2019). Does anchorage loss differ with 0.018-inch and 0.022-inch slot bracket systems? *Angle Orthodontist*, 89(4), 605–610. <https://doi.org/10.2319/081918-608.1>
- Koaban, A. M. (2025). Recent advances in orthodontic brackets: From aesthetics to smart technologies. *Cureus*.