

# TERMOPLÁSTICOS PARA ALINHADORES TRANSPARENTES

# A

ortodontia invisível moderna baseia-se na utilização de um molde da boca do paciente, fabricado em plástico transparente, com um desajuste entre a boca e o modelo de plástico, que gera a força necessária. Isso permite distribuir a força por toda a superfície do dente, de modo que forças menores são necessárias em comparação com a ortodontia convencional com metais. No entanto, este é um sistema que requer a total cooperação do paciente, um planejamento rigoroso e o uso do plástico adequado[1], [2], [3], [4]

Atualmente, há uma grande variedade de marcas no mercado que afirmam oferecer o plástico perfeito para alinhadores termoplásticos, mas na verdade, os tipos de plásticos em uso são bastante limitados. Basicamente, o mercado se divide entre PETG[5], [6], [7], [8] que é o plástico mais comum e econômico para alinhadores transparentes, seguido por TPU[9], [10], [11], PC, PP, EVA [6], [12] e multicamadas que utilizam dois ou mais desses materiais. [12], [13].

De forma geral, exige-se que o material utilizado seja transparente, biocompatível, inerte no ambiente oral e econômico[12], [14]. Todos esses materiais cumprem esses requisitos em maior ou menor grau, mas outros fatores importantes estão relacionados às capacidades termomecânicas do material e à força que ele pode gerar ao longo do tratamento. [9], [10], [11]

Inicialmente, pode-se pensar que quanto mais elástico for o material, melhor, pois mais força ele pode exercer. No entanto, existe uma força ótima que depende de diversos fatores, como genética, sexo, idade, dieta e ambiente[15], [16], [17]. Mesmo no mesmo paciente, diferentes pontos do ligamento periodontal podem ter diferentes valores ótimos de força. Valores superiores a esse ótimo retardam o movimento por causa dos danos aos tecidos moles, especialmente ao ligamento periodontal. Se as forças forem muito superiores, o movimento não apenas se retarda, mas também pode parar completamente, levando a danos maiores, como necrose radicular e outras doenças derivadas. Geralmente, valores entre 0,75 N e 10 N são suficientes para gerar movimento de forma eficaz e sem dor. [10], [11], [15], [18]

Outro aspecto a ser considerado é a duração da força. Os plásticos são materiais viscoelásticos, ao contrário dos metais, que são totalmente elásticos. Cada vez que o alinhador é colocado na mandíbula, ele é carregado com uma força elástica que se dissipa ao longo do tempo devido à viscosidade do material. Quando o alinhador é removido para comer ou limpá-lo, ele recupera sua forma inicial até certo ponto, graças à elasticidade do material. Quando é recolocado, o material é recarregado, mas com uma força inicial ligeiramente menor até que nenhuma força seja gerada devido à perda total da elasticidade. [8]

Deve-se levar em consideração que todos esses processos ocorrem a 37 °C com picos de temperatura. Os plásticos são materiais muito sensíveis ao calor e, de maneira geral, seu comportamento em relação à temperatura é definido pela temperatura de transição vítrea (Tg). Abaixo da Tg, o material se comporta como um sólido viscoelástico, e acima, como um líquido viscoso. A temperatura corporal está abaixo da maioria das Tg dos plásticos, mas suficientemente alta para que, após 20 horas, os plásticos sofram deformações permanentes, não gerando mais força.

Em resumo, além das características de transparência, biocompatibilidade e resistência a produtos químicos, é necessário um módulo elástico elevado para que o material seja o mais elástico possível e mantenha a força, mas não extremamente elevado para gerar forças dolorosas. Também é necessário ter uma Tg relativamente alta, o que contradiz o ponto anterior, já que, em geral, um aumento na Tg também aumenta o módulo elástico. Por isso, é necessária uma multicamada com um material rígido que ofereça uma Tg alta e alta elasticidade, e um material macio que reduza a magnitude das forças aplicadas, como ocorre no material usado pelo SecretAligner.



Para validar essa hipótese, testamos diferentes materiais disponíveis no mercado, juntamente com nosso material, em um projeto conjunto com o Instituto de Materiais de Madrid (IMDEA). Entre esses materiais estão diferentes **PETG**, **TPU** rígidos e **PP**, além do multicamada **Zendura FLX**, que, conforme constatamos, é o mais confortável e eficaz no mercado para alinhadores transparentes.

Em relação às características termomecânicas, utilizamos um método chamado DMTA que se baseia na aplicação de uma força que varia de forma senoidal ao longo do tempo, enquanto a temperatura aumenta. Dessa forma, a parte elástica do material responde imediatamente, enquanto a parte viscosa acrescenta um atraso no sinal, permitindo separar ambas as partes. Isso resulta no módulo de armazenamento e no módulo de perdas. A temperatura na qual a componente viscosa atinge o máximo é definida como Tg.

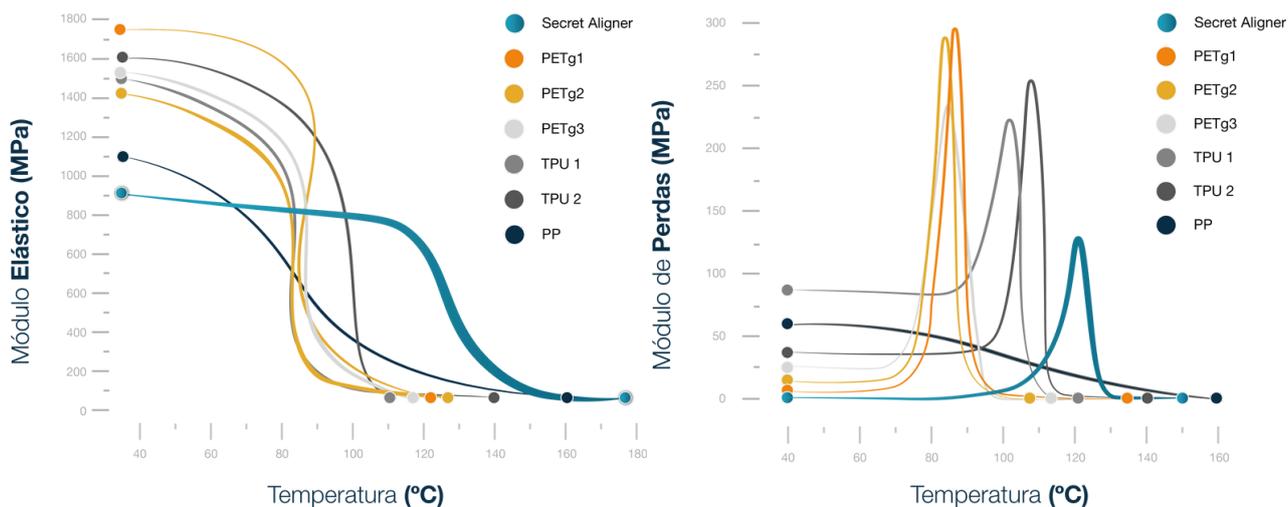


Ilustração 1: Resultados da DMTA

Como podemos observar, nosso material tem um módulo elástico mais baixo do que os concorrentes, mas uma Tg maior. Na verdade, por meio de testes de tração, encontramos que o módulo elástico do nosso material é a metade do PETG e do TPU, mas seu intervalo de elasticidade é mais amplo.

Outro teste usado para verificar o conforto é o de relaxamento de tensões, também conhecido como decaimento de força. Consiste em deformar o material até uma determinada porcentagem e manter essa deformação por 3 horas a 37 °C, verificando como o material se adapta e a força decai. Em seguida, o material é deixado para recuperar sua forma, monitorando seu deslocamento por 5 minutos à mesma temperatura. O mais desejável seria um material que exerça forças leves com uma queda mínima de força e uma recuperação máxima de sua forma. No gráfico seguinte, podemos observar o decaimento da força para uma deformação de 0,5 %.

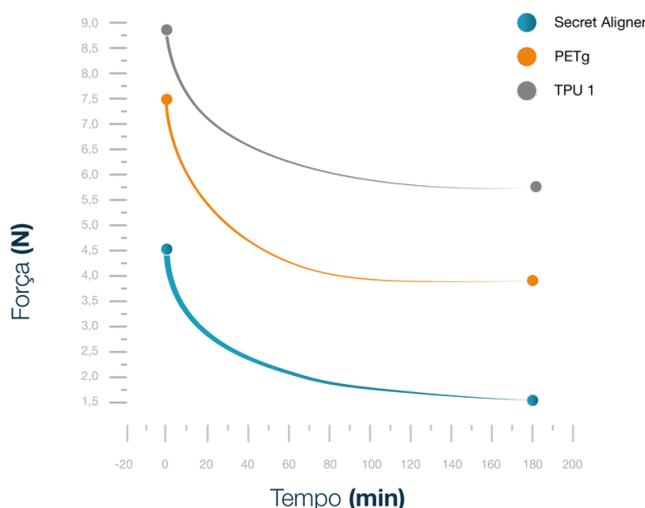


Ilustração 2. Resultados de relaxamento de tensões para 0,5% de deformação.



Como podemos observar, a força inicial e final no Zendura FLX são as mais baixas e estão no intervalo necessário para a ortodontia invisível. Sua recuperação em pequenas deformações é pior do que a de plásticos mais rígidos, mas deformações tão pequenas estão longe de representar o que acontece com os alinhadores transparentes durante o uso. Na verdade, os deslocamentos máximos neste teste são de cerca de 50 micras, enquanto os mais comuns são de 200 micras.

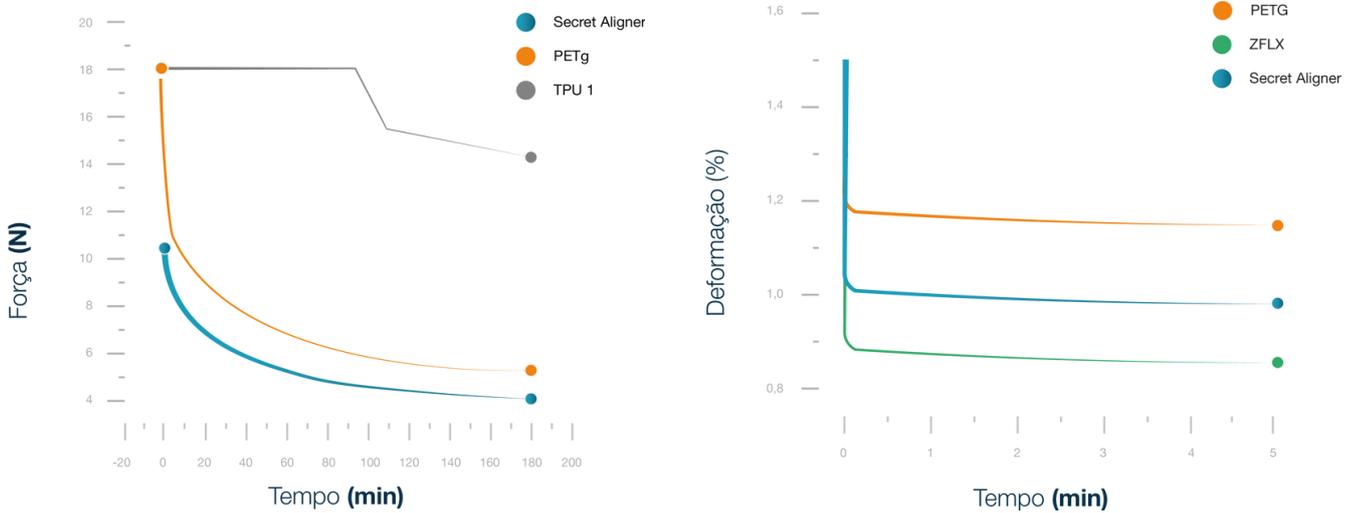


Ilustração 3. Resultados de relaxamento de tensões para 1,5% de deformação

Como podemos observar, se aumentar a deformação, nosso material mantém uma força dentro dos limites biológicos e um decaimento comparável ao teste anterior, sendo capaz de realizar um deslocamento mais próximo ao que ocorre durante o tratamento. No caso dos outros materiais, no PETG esses limites são superados, aumentando a perda de força e a deformação final. O TPU é tão rígido que atinge o máximo de força mensurável no equipamento (18 N), o que indica que esse material gera mais do que o dobro da força necessária. Os dados de deformação e deslocamento não são confiáveis neste teste. No caso do PETG, os deslocamentos foram menores que no material do SecretAligner.

Podemos garantir, então, que o material do SecretAligner é capaz de gerar forças mais leves para os tratamentos.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.G. Singh, Textbook of orthodontics, 2nd ed. New Delhi: Jaypee Brothers, 2007.
- 2.W. R. Proffit, H. W. Fields, D. M. Sarver, and J. L. Ackerman, Contemporary orthodontics, 5. ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Mosby, 2013.
- 3.A. E. Moutawakil, 'Biomechanics of Aligners: Literature Review', *Adv. Dent. Oral Health*, vol. 13, no. 5, Jan. 2021, doi: 10.19080/ADOH.2020.13.555872.
- 4.N. D. Kravitz, B. Kusnoto, E. BeGole, A. Obrez, and B. Agran, 'How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign', *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Off. Publ. Am. Assoc. Orthod. Its Const. Soc. Am. Board Orthod.*, vol. 135, no. 1, pp. 27–35, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.ajodo.2007.05.018.
- 5.N. Zhang, Y. Bai, X. Ding, and Y. Zhang, 'Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics', *Dent. Mater. J.*, vol. 30, no. 6, pp. 954–959, 2011, doi: 10.4012/dmj.2011-120.
6. Y. M. Bichu et al., 'Advances in orthodontic clear aligner materials', *Bioact. Mater.*, vol. 22, pp. 384–403, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.10.006.
- 7.B. Xiang et al., 'The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol-modified clear aligners immersed in artificial saliva', *Sci. Rep.*, vol. 11, p. 10052, May 2021, doi: 10.1038/s41598-021-89425-8.
- 8.P. Albertini, V. Mazzanti, F. Mollica, F. Pellitteri, M. Palone, and L. Lombardo, 'Stress Relaxation Properties of Five Orthodontic Aligner Materials: A 14-Day In-Vitro Study', *Bioengineering*, vol. 9, no. 8, p. 349, Jul. 2022, doi: 10.3390/bioengineering9080349.
- 9.F. Li, 'A Standardized Characterization of the Mechanical and Thermal Properties of Orthodontic Clear Aligners', UCLA, 2020. Accessed: Dec. 15, 2023. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/7rr5d47s>
- 10.B. E. Brown, 'EFFECT OF GINGIVAL MARGIN DESIGN ON CLEAR ALIGNER MATERIAL STRAIN AND FORCE DELIVERY', UNIVERSITY OF MINNESOTA, 2021.
- 11.Z. A. Larson, 'THE EFFECT OF ATTACHMENT FLASH ON CLEAR ALIGNER FORCE DELIVERY', UNIVERSITY OF MINNESOTA, 2022.
- 12.H. Ryokawa, Y. Miyazaki, A. Fujishima, T. Miyazaki, and K. Maki, 'The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment', *Orthod. Waves*, vol. 65, no. 2, pp. 64–72, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.odw.2006.03.003.
13. L. Jia, C. Wang, C. Wang, J. Song, and Y. Fan, 'Efficacy of various multi-layers of orthodontic clear aligners: a simulated study', *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, Oct. 2022, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10255842.2022.2034796>
- [14. School of Dentistry, Kiel University, Germany, H. L. G. Md, and Institute of Material Science, Faculty of Engineering, Kiel University, Germany, 'Effect of Dental Thermoplastic Materials on the Clinical Effectiveness of Clear Aligner', *Austin J. Dent.*, vol. 8, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.26420/austinjdent.2021.1151.
15. Bunta, D. Festila, V. Muresan, T. Coloși, O. P. Stan, and M. Baciut, 'Mathematical Modeling and Digital Simulation of Teeth Dynamics for the Approximation of Orthodontic Treatment Duration', *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2023, doi: 10.3390/app13105932.
- 16.M. Moustafa, M. N. Roslly, Z. Ismail, N. A. Jaafar, S. Shafie, and N. Mokhtar, 'Mathematical Modelling and Simulation of Periodontal Ligament Using COMSOL Multiphysics', in *Proceedings of the International Conference on Mathematical Sciences and Statistics 2022 (ICMSS 2022)*, N. Wahi, M. A. Mohd Safari, R. Hasni, F. Abdul Razak, I. Gafurjan, and A. Fitrianto, Eds., Dordrecht: Atlantis Press International BV, 2023, pp. 267–277. doi: 10.2991/978-94-6463-014-5\_25.
- 17.Y. Ren, J. C. Maltha, M. A. Van 't Hof, and A. M. Kuijpers-Jagtman, 'Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a mathematic model', *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, vol. 125, no. 1, pp. 71–77, Jan. 2004, doi: 10.1016/j.ajodo.2003.02.005.
- 18.Y. Ma and S. Li, 'The optimal orthodontic displacement of clear aligner for mild, moderate and severe periodontal conditions: an in vitro study in a periodontally compromised individual using the finite element model', *BMC Oral Health*, vol. 21, no. 1, p. 109, Mar. 2021, doi: 10.1186/s12903-021-01474-7.