

AValiação DO *SHELF-LIFE* DE RESINAS COMPOSTAS POR MEIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM CÂMARA CLIMÁTICA COM O TEMPO DE VALIDADE

**NATÁLIA LINK BAHR¹; JÚLIA SILVEIRA LONGARAY²; JOSIANE KUHN RUTZ³;
CARLA LUCIA DAVID PENA⁴; EVANDRO PIVA⁵; RAFAEL GUERRA LUND⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – nlinkbahr@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – julias.longaray02@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – josianekr@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – cldp58@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – evpiva@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – rafael.lund@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A presente inovação descreve um processo de simulação do *shelf-life* (tempo de prateleira) de resinas compostas, baseado na validação de protocolos de envelhecimento acelerado para estimar seu prazo de validade. Apesar dos avanços tecnológicos, a estabilidade físico-química e mecânica das resinas compostas ao longo do tempo ainda representa um desafio relevante, pois variações no armazenamento dos materiais e condições ambientais podem comprometer propriedades críticas como: resistência mecânica, rugosidade superficial, estabilidade de cor, grau de conversão e adesão à estrutura dental (ILIEV, 2021).

O processo inovador proposto emprega simulação ambiental controlada, utilizando temperatura, umidade relativa e radiação UV para reproduzir, em curto período, as alterações que ocorreriam em meses ou anos de armazenamento natural dos produtos odontológicos. As modificações obtidas no envelhecimento acelerado são comparadas às observadas no envelhecimento natural, assegurando a validade preditiva do protocolo.

Essa estratégia possibilita reduzir significativamente o tempo de avaliação, além de oferecer maior confiabilidade para prever o desempenho clínico (CUEVAS-SUÁREZ, 2019). Ao superar abordagens convencionais, que se limitam a um único tipo de envelhecimento, o protocolo permite identificar, em menor tempo, resinas com maior longevidade e estabilidade, fornecendo subsídios estratégicos para indústria, pesquisa e prática clínica, contribuindo para o desenvolvimento de compósitos com desempenho mais previsível e seguro (ILIEV, 2021).

2. ANÁLISE DE MERCADO

O protocolo proposto atende principalmente fabricantes de resinas compostas, que necessitam garantir a estabilidade química, mecânica e estética de seus produtos durante o período de validade. Também é aplicável a laboratórios de controle de qualidade e P&D, que podem utilizá-lo em ajustes de formulação e atendimento a requisitos regulatórios, além de universidades e centros de pesquisa odontológica, que encontram na metodologia uma ferramenta confiável para estudos de durabilidade.

O mercado global de testes de *shelf-life* foi estimado em aproximadamente USD 3,26 bilhões em 2023, com projeção de atingir cerca de USD 5,16 bilhões até 2030, crescendo a uma taxa anual composta de 6,8% (MAXIMIZE MARKET RESEARCH, 2023). Outros prognósticos indicam expectativas ainda mais otimistas, com a cifra global podendo alcançar USD 6,54 bilhões em 2028, considerando uma taxa de crescimento de 9,2% ao ano (EINPRESSWIRE, 2024).

Nesse contexto, a metodologia proposta pode ser oferecida como serviço laboratorial especializado. Embora não haja dados públicos específicos sobre preços no setor odontológico, serviços similares em outros segmentos, como cosméticos e fármacos, reportam valores em torno de USD 550 por lote de testes acelerados (KAPPALABS, 2024).

Mesmo que existam referências normativas, como a ISO 4049 (materiais restauradores à base de resina) e a ISO 7491 (estabilidade de cor), os protocolos atuais apresentam aplicação restrita e carecem de validação comparativa com o envelhecimento natural. O diferencial desta inovação é justamente a integração sistemática entre envelhecimento acelerado e natural, aspecto pouco explorado e de alto valor competitivo e econômico, capaz de gerar impacto direto em margens de lucro e posicionamento estratégico no mercado odontológico.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O desenvolvimento da metodologia foi realizado com resinas compostas de diferentes composições e indicações clínicas, incluindo sistemas nanoparticulados (Filtek Z350 XT e 3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), bulk fill (Filtek Bulk Fill, 3M ESPE; Tetric N-Ceram Bulk Fill, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) e nano híbridos (Tetric N-Ceram, Ivoclar Vivadent) e microhíbrida (Master Fill, Biodinâmica, Ibiporã, PR, Brasil).

Foram avaliados dois protocolos complementares de armazenamento: (1) envelhecimento em tempo real, em que os materiais foram mantidos por 12 meses nas condições recomendadas pelos fabricantes, com monitoramento aos 0, 3, 6 e 12 meses, de acordo com a normativa Q1A(R2) do *International Council for Harmonisation* (2022); e (2) envelhecimento acelerado em câmara climática (MA 835/UR, Marconi, Piracicaba, Brasil), sob temperatura controlada e 75% de umidade relativa, utilizando os mesmos intervalos, a fim de reproduzir o período de validade em menor tempo. As análises contemplaram propriedades físico-químicas críticas, como grau de conversão, resistência à flexão em três pontos e módulo elástico conforme a norma ISO 4049.

A estratégia de implementação prevê a prestação de serviços laboratoriais especializados para fabricantes de resinas compostas e centros de pesquisa, possibilitando a avaliação de materiais em protocolos padronizados de envelhecimento natural e acelerado. Adicionalmente, o protocolo poderá ser licenciado para integração em processos internos de controle de qualidade e P&D das empresas. A médio prazo, projeta-se sua integração com softwares de análise de estabilidade, ampliando a capacidade preditiva e a automação no monitoramento do desempenho das resinas compostas. A receita será gerada por serviços laboratoriais especializados para fabricantes e centros de pesquisa, com possibilidade de licenciamento do protocolo para integração em controle de qualidade e P&D, além de futura integração com softwares de análise de estabilidade, ampliando predição e automação na avaliação de resinas compostas.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A aplicação do protocolo de envelhecimento acelerado foi testado em resinas compostas que permitiu mapear de forma detalhada a estabilidade físico-química e mecânica desses materiais ao longo do tempo (Tabela 1). As análises indicaram variações significativas em propriedades críticas, incluindo diminuição no grau de conversão, diminuição na resistência à flexão em três pontos, evidenciando que diferentes formulações respondem de maneira distinta às condições de armazenamento. Os resultados obtidos indicaram que o envelhecimento em câmara climática reproduziu de forma consistente as alterações observadas no armazenamento natural, tanto na variação do grau de conversão quanto na resistência flexural. Em materiais como Tetric N Bulk Fill e Master Fill, os valores de VA e VN foram praticamente equivalentes, enquanto em outros, como Filtek Bulk Fill, observaram-se diferenças numéricas, porém mantendo a mesma tendência de degradação. Esses achados sugerem que o envelhecimento acelerado pode ser considerado um método válido para simular o vencimento natural, permitindo a estimativa do prazo de prateleira em tempo reduzido.

Tabela 1. Resultados da avaliação da variação do grau de conversão e propriedades mecânicas de resinas compostas submetidas ao protocolo de envelhecimento acelerado (n=15).

Grupo	Variação do grau de conversão (%)			σ_f (Mpa)	
	VA	VN	Baseline	VA	VN
Filtek Z350	-40,08	-	103,42 (22,38)A	07,69 (30,88)A	-
Filtek Bulk Fill	-41,57	-50,77	132,77 (15,81)A	130,12 (7,51)A	106,20 (29,66)B
Tetric N Ceram	-58,29	-	83,68 (15,20)A	95,67 (6,15)B	-
Tetric N Bulk Fill	-52,74	-49,28	95,60 (8,78)A	93,35 (8,57)A	97,25 (8,20)B
Master Fill	-45,33	-49,33	88,86(19,42) A	75,16 (17,22)B	73,79 (17,42)B

Letras maiúsculas diferentes entre as colunas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de validade ($p < 0,05$). O símbolo (–) indica que a resina ainda não se encontra vencida, sendo os testes realizados somente após atingir a data de validade.

A comparação entre envelhecimento natural e acelerado mostrou que métodos controlados em câmara climática preservam melhor a estabilidade das resinas, com menores alterações de microdureza, resistência mecânica e grau de conversão, além de reduzir a variabilidade entre lotes, reforçando a necessidade de protocolos padronizados e validados para garantir confiabilidade preditiva.

Esses resultados corroboram evidências anteriores (ILIEV, 2021; SUÁREZ, 2019) e demonstram que o protocolo pode antecipar alterações que ocorreriam ao longo de meses ou anos, oferecendo informações críticas para a seleção e formulação de materiais mais duráveis.

Espera-se que a aplicação do método proporcione maior segurança clínica, reduzindo riscos de falhas associadas a materiais vencidos ou instáveis, e contribua para reduzir desperdício e otimizar recursos, promovendo sustentabilidade econômica. O protocolo também oferece padronização de análise, permitindo comparabilidade entre laboratórios e lotes, o que fortalece o controle de qualidade e a pesquisa aplicada.

5. CONCLUSÕES

O protocolo de avaliação do shelf-life de resinas compostas demonstra ser uma ferramenta robusta para determinar a estabilidade físico-química e mecânica dos materiais odontológicos, permitindo prever alterações antes que comprometam o desempenho clínico. Sua aplicação potencializa a segurança do paciente, eficiência econômica e sustentabilidade, ao reduzir falhas clínicas, otimizar estoques e minimizar desperdício. Além disso, a metodologia oferece padronização, reprodutibilidade e escalabilidade, podendo ser adotada por indústrias, laboratórios e centros de pesquisa, expandida para outros biomateriais e integrada a ferramentas preditivas, consolidando-se como referência estratégica e científica no desenvolvimento e controle de qualidade de resinas compostas e materiais restauradores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUEVAS-SUÁREZ, C. E. et al. Impact of shelf-life simulation on bonding performance of universal adhesive systems. **Dental Materials**, v. 35, n. 9, p. e204-e219, 2019.

EINPRESSWIRE. *Shelf Life Testing Market Expected to Reach USD 6.54 Billion by 2028, Growing at 9.2% CAGR. 2024.* Disponível em: <https://www.einpresswire.com/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ILIE, N. et al. Academy of dental materials guidance—Resin composites: Part I—Mechanical properties. **Dental materials**, v. 33, n. 8, p. 880-894, 2017.

ILIEV, G. et al. Shelf life and storage conditions of universal adhesives: A literature review. **Polymers**, v. 13, n. 16, p. 2708, 2021.

KAPPALABS. *Shelf Life Testing Services for Food, Cosmetics and Pharmaceuticals.* 2024. Disponível em: <https://kappalabs.com/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MAXIMIZE MARKET RESEARCH. *Shelf Life Testing Market Size, Share, Growth and Forecast (2023-2030).* 2023. Disponível em: <https://www.maximizemarketresearch.com/>. Acesso em: 26 ago. 2025.