

Influência da solução de imersão e da interação com a dentina na solubilidade de cimentos endodônticos biocerâmicos pronto para uso ou pó-líquido

Influence of immersion solution and dentin interaction on the solubility of ready-to-use or powder-liquid bioceramic endodontic sealers

Influencia de la solución de inmersión y la interacción con la dentina en la solubilidad de cimentos endodónticos biocerámicos listos para uso o polvo líquido

Recebido: 13/01/2023 | Revisado: 29/01/2023 | Aceitado: 17/02/2023 | Publicado: 21/02/2023

Alessandra Alves Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9132-1958>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: alessandra.alves@unesp.br

Airton Oliveira Santos-Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1916-1675>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: airton.oliveira@unesp.br

Karina Ines Medina Carita Tavares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7916-7900>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: karina.medina@unesp.br

Jáder Camilo Pinto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2023-1589>
Centro Universitário Presidente Antônio Carlos, Brasil
Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves, Brasil
E-mail: jaderqwert@yahoo.com.br

Juliane Maria Guerreiro-Tanomaru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0446-2037>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: guerreiro.tanomaru@unesp.br

Mário Tanomaru-Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2574-4706>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: tanomaru@uol.com.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da solução de imersão e da interação com a dentina na solubilidade de cimento biocerâmico pronto para uso NeoSEALER® Flo (NSF) ou pó-líquido BioRoot RCS (BR). Moldes com diâmetro interno de 5 mm e 1,5 mm de altura foram confeccionados em polietileno ou dentina bovina. Após preenchimento com NSF ou BR, foram mantidos em estufa por 24h. Após determinação da massa inicial em balança de precisão, os espécimes foram imersos em 7,5 mL de água destilada (AD) ou solução salina tamponada com fosfato (PBS) (n=8) por 7 ou 14 dias. A massa final foi obtida após pesagem até estabilização da massa. A solubilidade foi avaliada de acordo com a diferença entre a massa inicial e final em porcentagem. Teste ANOVA de duas vias, Bonferroni e teste t não pareado foram utilizados ($\alpha=0,05$). Após 7 dias, ambos materiais apresentaram menor solubilidade em PBS que em AD ($p<0,05$). Modelo de preenchimento não influenciou a solubilidade ($p>0,05$), exceto para polietileno/NSF em AD após 7 dias ($p<0,05$). NSF apresentou menor solubilidade que BR em AD (dentina) ou PBS (polietileno) após 14 dias ($p<0,05$). Conclui-se que PBS proporciona menor solubilidade que AD para NSF e BR após 7 dias. Modelo de preenchimento de polietileno influencia a solubilidade de NSF após 7 dias. A solução de imersão não influencia a alteração de massa após 14 dias. Novas abordagens metodológicas podem representar alternativas importantes para avaliação de solubilidade de cimentos biocerâmicos.

Palavras-chave: Calcarea silicata; Endodontia; Solubilidade.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of immersion solution and interaction with dentin on the solubility of ready-to-use bioceramic NeoSEALER® Flo (NSF) or powder-liquid BioRoot RCS (BR). Molds with an internal diameter of 5 mm and a length of 1.5 mm were made of polyethylene or bovine dentin. After filling with NSF or BR, they were kept in an oven for 24 hours. After determining the initial mass on a precision scale, the specimens were immersed in 7.5 mL of distilled water (DW) or phosphate buffered saline solution (PBS) (n=8) for 7 or 14 days. The

final mass was obtained after weighing until mass stabilization occurred. Solubility was evaluated according to the difference between the initial and final mass in percentage. Two-way ANOVA, Bonferroni and unpaired t-tests were used ($\alpha=0.05$). After 7 days, both materials showed lower solubility in PBS than DW ($p<0.05$). Filling mold did not influence solubility ($p>0.05$), except for polyethylene/NSF in DW after 7 days ($p<0.05$). NSF showed lower solubility than BR in DW (dentin) or PBS (polyethylene) after 14 days ($p<0.05$). It is concluded that PBS provides lower solubility than DW for NSF and BR after 7 days. Polyethylene mold influences NSF solubility after 7 days. The immersion solution does not influence the mass change after 14 days. New methodological approaches may represent important alternatives for evaluating the solubility of bioceramic sealers.

Keywords: Calcareo silicatos; Endodónticos; Solubilidade.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del medio de inmersión y la interacción con la dentina en la solubilidad del cemento biocerámico listo para uso NeoSEALER® Flo (NSF) o polvo líquido BioRoot RCS (BR). Moldes con diámetro de 5 mm y 1,5 mm de altura se fabricaron en polietileno o dentina bovina. Después del sellado con NSF o BR, fueron llevados a la estufa por 24h. Después de la determinación de la masa inicial en la balanza de precisión, las muestras fueron inmersas en 7,5 mL de agua destilada (AD) o solución salina tamponada con fosfato (PBS) ($n=8$) durante 7 o 14 días. La masa final se obtuvo después del pesaje hasta la estabilización de la masa. La solubilidad se evaluó según la diferencia entre la masa inicial y final en porcentaje. Se utilizaron ANOVA de dos vías, Bonferroni y pruebas t no pareadas ($\alpha = 0,05$). Después de 7 días, ambos materiales mostraron menor solubilidad en PBS que en AD ($p<0.05$). El molde para relleno no influyó en la solubilidad ($p>0,05$), excepto para polietileno/NSF en AD después de 7 días ($p<0,05$). NSF mostró menor solubilidad que BR en AD (dentina) o PBS (polietileno) después de 14 días ($p<0.05$). Se concluye que PBS proporciona menor solubilidad que AD para NSF y BR después de 7 días. El molde para relleno de polietileno influye en la solubilidad NSF después de 7 días. La solución de inmersión no influye en la alteración de masa después de 14 días. Nuevos enfoques metodológicos pueden representar importantes alternativas para evaluar la solubilidad de los cementos biocerámicos.

Palabras clave: Calcareo silicatos; Endodoncia; Solubilidade.

1. Introdução

A obturação dos canais radiculares deve promover adequado selamento (Kikly et al., 2020). Dentre as propriedades dos materiais obturadores, baixa solubilidade favorece o selamento (Cavenago et al., 2014; Urban et al., 2018; Bastos et al., 2021). Cimentos endodónticos à base de silicato de cálcio apresentam adequadas propriedades biológicas (López-García et al., 2020; Alves Silva et al., 2020; Silva et al., 2020) e físico-químicas (Zordan-Bronzel et al., 2019; Torres et al., 2020; Amaral et al., 2020; Tavares et al., 2021). No entanto, alta solubilidade é observada nas avaliações realizadas para estes materiais (Torres et al., 2020; Bastos et al., 2021).

A solubilidade de cimentos endodónticos deve ser inferior a 3%, segundo as normas da *International Organization for Standardization* (ISO), bem como da *American National Standards Institute e American Dental Association* (ANSI/ADA). A avaliação da solubilidade é realizada pela diferença de massa antes e após a imersão em água destilada por 24 horas. No entanto, o teste de solubilidade convencional apresenta limitações para avaliar materiais hidrofílicos (Gandolfi et al., 2015). Dentre elas, a captação de fluidos do meio, bem como a desidratação das amostras durante o processo de secagem podem influenciar os resultados (Gandolfi et al., 2015; Elyassi et al., 2019). Dessa forma, o uso de fluidos corporais simulados, tais como solução salina tamponada com fosfato (PBS), proporciona maior semelhança com condições clínicas e demonstra menor solubilidade para cimentos biocerâmicos em comparação com a imersão em água destilada (Torres et al., 2020; Silva et al., 2021). Além disso, a interação do material com a dentina e PBS estimula a deposição de apatita carbonatada na interface material/dentina proporcionando maior capacidade de preenchimento e resistência de união (Reyes-Carmona et al., 2010). No entanto, a avaliação da solubilidade de cimentos endodónticos biocerâmicos empregando modelos de tubos de dentina bovina ou polietileno imersos em PBS ou água destilada ainda não foi alvo de estudos na literatura.

NeoSEALER® Flo (NSF, Avalon Biomed, Houston, TX, Estados Unidos) é um novo cimento endodóntico biocerâmico pré-misturado e pronto para uso, composto por silicato tricálcico/dicálcico e óxido de tântalo como agente radiopacificador. NSF demonstra radiopacidade, escoamento e espessura de filme de acordo com os valores preconizados pela

ISO 6876:2012 (Zamparini et al., 2022). No entanto, maior solubilidade foi relatada para este material em comparação ao cimento resinoso AH Plus (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) (Zamparini et al., 2022). Além disso, maior infiltração cervical e apical em canais radiculares obturados pela técnica de cone único foi demonstrada para NSF em comparação ao AH Plus e Pulp Canal Sealer (Kerr, Brea, CA, USA) (Vo et al., 2022).

BioRoot RCS (BR, Septodont, St. Maur-des-Fossés, França) é um cimento endodôntico composto por um pó à base de silicato tricálcico e óxido de zircônio, que deve ser misturado com um líquido à base de água contendo cloreto de cálcio e policarboxilato (Kim et al., 2019). BR apresenta biocompatibilidade, citocompatibilidade (Jung et al., 2018; Gaudin et al., 2020), bioatividade (Loison-Robert et al., 2018), além de atividade antimicrobiana (Long et al., 2020). Em relação as propriedades físicas, esse material apresenta pH alcalino, escoamento superior a 20 mm de acordo com as normas ISO 6876 (Katakidis et al., 2020) e adequada penetrabilidade nos túbulos dentinários (Kim et al., 2019). No entanto, valores de solubilidade acima do recomendado pelas normas ISO 6876:2012 são relatados para BR (Elyassi et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da solução de imersão (água destilada ou PBS) e da interação com a dentina na avaliação da solubilidade do cimento biocerâmico pronto para uso NSF ou pó-líquido BR. A hipótese nula testada era que os meios de imersão e modelos de preenchimento não influenciariam a solubilidade dos cimentos avaliados.

2. Metodologia

Os cimentos endodônticos que foram utilizados no presente estudo e os grupos experimentais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos experimentais, materiais com seus respectivos fabricantes, composição, proporção, tipo de amostra, meio de imersão e períodos de avaliação da solubilidade.

Grupos	Material	Fabricante	Composição	Proporção	Tipo de amostra	Meio de Imersão	Períodos
NSF	NeoSEALER® Flo	Avalon Biomed, Texas, Estados Unidos	Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato de cálcio, aluminato tricálcico, Sulfato de cálcio, Óxido de tântalo	Pronto para uso	Modelo circular de polietileno	Água destilada ou PBS	7 ou 14 dias
NSF	NeoSEALER® Flo	Avalon Biomed, Texas, Estados Unidos	Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato de cálcio, aluminato tricálcico, Sulfato de cálcio, Óxido de tântalo	Pronto para uso	Modelo circular de dentina	Água destilada ou PBS	7 ou 14 dias
BR	BioRoot RCS	Septodont, St. Maur-des-Fossés, França	Pó: Silicato tricálcico, óxido de zircônio, povidona Líquido: solução aquosa de cloreto de cálcio e policarboxilato	1 scoop de pó: 5 gotas de líquido	Modelo circular de polietileno	Água destilada ou PBS	7 ou 14 dias
BR	BioRoot RCS	Septodont, St. Maur-des-Fossés, França	Pó: Silicato tricálcico, óxido de zircônio, povidona Líquido: solução aquosa de cloreto de cálcio e policarboxilato	1 scoop de pó: 5 gotas de líquido	Modelo circular de dentina	Água destilada ou PBS	7 ou 14 dias

NSF: NeoSEALER® Flo, **BR:** BioRoot RCS. Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do tamanho da amostra

O programa G* Power 3.1.7 para Windows (Heinrich-Heine-Universität Dusseldorf, Dusseldorf, Alemanha) foi utilizado para o cálculo amostral. O teste ANOVA foi utilizado com um erro tipo alpha de 0.05 e poder beta de 0.99 para todas as variáveis. Estudo anterior foi utilizado para determinar o tamanho do efeito específico para solubilidade, 0,62 (Torres et al., 2017). Um total de 7 espécimes foi indicado como sendo o tamanho ideal necessário. Um n=8 foi utilizado.

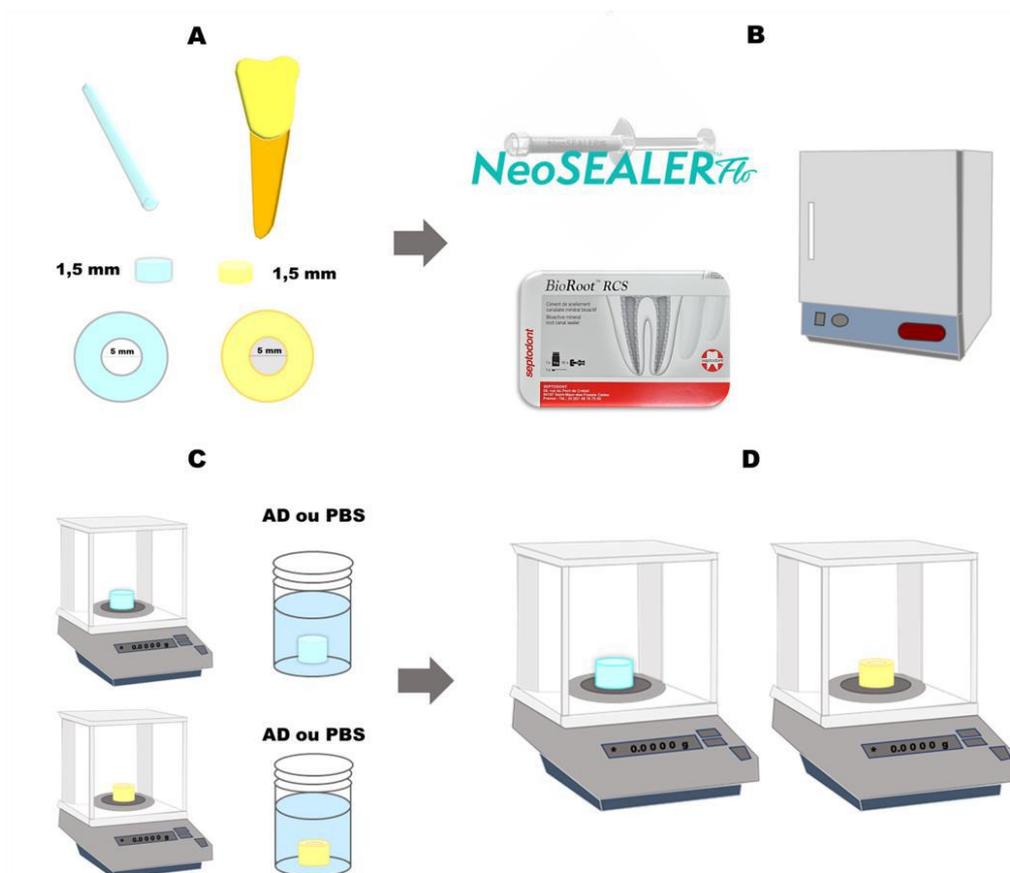
Preparo e preenchimento dos espécimes

Modelos circulares foram confeccionados em polietileno ou dentina bovina com 1,5 mm de altura e 5 mm de diâmetro interno. Dentes bovinos extraídos foram utilizados para confecção dos tubos de dentina. Posteriormente, os modelos circulares de dentina ou polietileno foram preenchidos com os cimentos NSF ou BR e armazenados em estufa a 37°C e umidade de 95% por 24 horas.

Análise de massa inicial e final dos espécimes

Após 24h em estufa, as amostras foram pesadas em balança de precisão HM-200 (A & D Engineering, Inc., Bradford, MA, EUA) para determinação da massa inicial. Na sequência, os modelos circulares de polietileno ou dentina bovina foram imersos em 7,5 mL de água destilada ou PBS (n=8) e acondicionados em estufa a 37°C e umidade 95% por 7 ou 14 dias. Após cada período experimental, os espécimes foram removidos das soluções de imersão e pesados em balança de precisão a cada 24h até a estabilização da massa final (0,001g).

Figura 1 - Figura esquemática representando a metodologia aplicada no presente estudo.



Fonte: Arquivos pessoais dos autores.

A Figura 1 ilustra a metodologia da presente investigação: **A.** Parâmetros para confecção dos modelos circulares de polietileno ou dentina bovina, **B.** Preenchimento das amostras com NeoSEALER® Flo ou BioRoot RCS e armazenamento em estufa por 24h, **C.** Determinação da massa inicial das amostras em balança de precisão e imersão em água destilada (AD) ou PBS por 7 e 14 dias, **D.** Determinação da massa final das amostras em balança de precisão após cada período experimental.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e apresentaram distribuição normal. Testes ANOVA de duas vias e Bonferroni foram utilizados para comparar os efeitos das variáveis (meios de imersão e modelos de preenchimento). O teste t não pareado foi utilizado para comparações entre os cimentos dentro de cada condição específica. O nível de significância adotado foi de 5% para todas as análises.

3. Resultados

Ambos os materiais apresentaram menor solubilidade após 7 dias de imersão em PBS que em água destilada ($p < 0,05$). Modelos de polietileno ou dentina não influenciaram a solubilidade ($p > 0,05$), exceto para polietileno com NSF em água destilada após 7 dias ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2 - Média e \pm desvio padrão da solubilidade de cimentos biocerâmicos imersos em água destilada ou PBS em diferentes modelos de preenchimento pelo período de 7 dias.

		Água Destilada	PBS
NeoSEALER® Flo	Modelos Circulares de Dentina	13,197 \pm 11,220 ^{aA}	7,526 \pm 2,215 ^{bA}
	Modelos Circulares de Polietileno	11,008 \pm 0,844 ^{aB}	8,006 \pm 2,618 ^{bA}
BioRoot RCS	Modelos Circulares de Dentina	12,283 \pm 3,289 ^{aA}	8,540 \pm 1,429 ^{bA}
	Modelos Circulares de Polietileno	10,912 \pm 1,382 ^{aA}	7,598 \pm 1,305 ^{bA}

Diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa entre os meios de imersão ($p < 0,05$). Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença significativa entre os modelos de preenchimento ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os cimentos em todas as condições testadas ($p > 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

NSF apresentou menor solubilidade que BR em água destilada (dentina) ou PBS (polietileno) após 14 dias ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os meios de imersão e modelos de preenchimento após 14 dias ($p > 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3 - Média e \pm desvio padrão da solubilidade de cimentos biocerâmicos imersos em água destilada ou PBS em diferentes modelos de preenchimento pelo período de 14 dias.

		Água Destilada	PBS
NeoSEALER® Flo	Modelos Circulares de Dentina	7,708 \pm 1,876 ^b	7,826 \pm 2,633 ^a
	Modelos Circulares de Polietileno	8,602 \pm 1,05 ^a	7,475 \pm 1,743 ^b
BioRoot RCS	Modelos Circulares de Dentina	11,246 \pm 3,451 ^a	9,213 \pm 1,782 ^a
	Modelos Circulares de Polietileno	10,622 \pm 3,681 ^a	10,135 \pm 2,902 ^a

Diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença significativa entre os cimentos na mesma condição ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os meios de imersão e modelos de preenchimento ($p > 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

4. Discussão

Testes padronizados pela ISO e ANSI/ADA são empregados para avaliar as propriedades físico-químicas de cimentos endodônticos. No entanto, teste de solubilidade convencional apresenta limitações para avaliar cimentos biocerâmicos (Gandolfi et al., 2015; Elyassi et al., 2019). Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do meio de imersão e a interação com a dentina na avaliação da solubilidade do cimento pronto para uso NSF ou pó-líquido BR. A hipótese nula foi parcialmente rejeitada, uma vez que alguns resultados entre os meios de imersão e modelos de preenchimento mostraram influenciar a solubilidade dos materiais.

Água destilada é preconizada como meio de imersão durante o teste de solubilidade ISO 6876. No entanto, a solubilidade de cimentos biocerâmicos em água destilada não expressa condição *in vivo* (Sfeir et al., 2021; Silva et al., 2021). O presente estudo demonstrou menor solubilidade para ambos os cimentos quando imersos em PBS em comparação com água destilada após 7 dias. Estudos prévios também demonstraram menor perda de massa para cimentos à base de silicato de cálcio quando imersos em PBS (Torres et al., 2020; Silva et al., 2021; Sfeir et al., 2021). A interação do material com os íons de fosfato do PBS promove a formação de uma camada superficial de hidroxiapatita (Urban et al., 2018), proporcionando menor solubilidade para esses cimentos (Prüllage et al., 2016), podendo estar relacionada com os resultados obtidos no presente estudo. No entanto, nossos resultados mostraram que mesmo após imersão em PBS, a solubilidade permaneceu acima dos valores recomendados pela ISO 6876.

Teste convencional de solubilidade é realizado pela avaliação da alteração de massa, após imersão em água destilada por 24h. No entanto, períodos maiores de avaliação são empregados para observar o comportamento dos materiais ao longo do tempo (Urban et al., 2018; Silva et al., 2021; Torres et al., 2021), uma vez que o processo de hidratação de cimentos biocerâmicos ocorre mesmo após o tempo de presa final (Siboni et al., 2017). No presente estudo, NSF apresentou menor solubilidade que BR em água destilada (modelos de polietileno) ou PBS (modelos de dentina) após o período de 14 dias. Estudo prévio também demonstrou menor perda de massa para o cimento pronto para uso CeraSeal (Meta Biomed Co, Cheongju, Korea) quando comparado com o cimento pó-líquido BR após imersão em água destilada por 14 dias (Kharouf et al., 2020). Cimentos prontos para uso apresentam mistura homogênea (Debelian & Trope, 2016). Por outro lado, materiais

comercializados na apresentação pó-líquido demandam manipulação manual, o que pode interferir na solubilidade, resistência de união e compressão (Reyhani et al., 2017; Duque et al., 2018; Bortoluzzi et al., 2019).

Materiais biocerâmicos apresentam processo de biomineralização em contato com a dentina (Reyes-Carmona et al., 2010). Desta forma, modelos circulares de dentina ou polietileno foram propostos nesse estudo para avaliar a solubilidade dos cimentos NSF ou BR. Nossos resultados mostraram que os diferentes modelos de preenchimento não influenciaram a solubilidade dos materiais em ambos os períodos de avaliação, exceto para polietileno com NSF em água destilada após 7 dias. Este resultado pode ser atribuído as propriedades do polietileno. Polietileno é um material termoplástico geralmente comercializado em baixa densidade (Khanam & AlMaadeed, 2015; Bardají et al., 2020). Esse material apresenta alta flexibilidade e resistência à tensão (Pramila & Ramesh, 2011), além de alta resistência à água (Zhao et al., 2018), podendo justificar os resultados do presente estudo em relação à menor solubilidade demonstrada para NSF ao empregar modelos de polietileno. Todavia, este é o primeiro estudo que investigou o efeito de diferentes modelos confeccionados em dentina ou polietileno para avaliar a solubilidade de materiais hidrofílicos.

Dessa forma, os resultados apresentados no presente estudo poderão servir de referência para futuras investigações de materiais biocerâmicos. Além disso, a metodologia proposta em nosso estudo pode permitir avaliações em condições mais próximas à situação clínica, permitindo uma melhor compreensão da solubilidade de cimentos à base de silicato de cálcio em relação à sua aplicação clínica.

5. Conclusão

PBS proporciona menor solubilidade que água destilada para NSF e BR após 7 dias. O meio de imersão não influencia a alteração de massa após 14 dias. Modelo de polietileno influencia a avaliação de solubilidade de NSF após 7 dias. O meio de imersão não influencia a alteração de massa após 14 dias. Novas abordagens metodológicas podem representar alternativas importantes para avaliação de solubilidade de cimentos biocerâmicos. Futuras investigações devem ser realizadas comparando metodologias convencionais e segundo as normas ISO com a proposta do presente estudo visando melhor entendimento do comportamento de cimentos à base de silicato de cálcio e determinação de métodos apropriados para avaliação de solubilidade dos materiais biocerâmicos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PIBIC/CNPq (Processo 139893/2021-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processos 2020/11011-7, 2020/11012-3 e 2021/11496-3).

Referências

- Alves Silva, E. C., Tanomaru-Filho, M., da Silva, G. F., Delfino, M. M., Cerri, P. S., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2020). Biocompatibility and bioactive potential of new calcium silicate-based endodontic sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. *J Endod*, 46(10), 1470-1477.
- Amaral, C. S. dos S., Tomaz, A. F. G., Campos, I. J. de O., Medeiros, E. R. de., Paula, J. V. F. de., Costa, E. H. P. da., Silva, A. F. da., Figueiredo, F. M. P., & Teixeira, A. P. A. (2020). Current concepts related to the use of bioceramic materials in Dentistry. *Research, Society and Development*, 9(12), e34191211277.
- American National Standards Institute/American Dental Association (ANSI/ADA). Specification no. 57 <https://www.ada.org/resources/practice/dental-standards/standards-committee-on-dental-products/products-standards-technical-specifications-and-technical-reports>
- Bardají, D. K. R., Moretto, J. A. S., Furlan, J. P. R., & Stehling, E. G. (2020). A mini-review: current advances in polyethylene biodegradation. *World J Microbiol Biotechnol*, 36(2), 32.
- Bastos, L. A. P., Vitti, R. P., & Casonato Junior, H. (2021). Sorption and solubility of bioceramic endodontic sealers and sealer based on epoxy resin. *Research, Society and Development*, 10(7), e31210716676.

- Bortoluzzi, E. A., Cassel de Araújo, T., Carolina Corrêa Néis, A., Cássia Dos Santos, M., da Fonseca Roberti Garcia, L., Dulcinéia Mendes Souza, B., & da Silveira Teixeira, C. (2019). Effect of different water-to-powder ratios on the dimensional stability and compressive strength of mineral aggregate-based cements. *Eur Oral Res*, 53(2), 94-98.
- Cavenago, B. C., Pereira, T. C., Duarte, M. A., Ordinola-Zapata, R., Marciano, M. A., Bramante, C. M., & Bernardineli, N. (2014). Influence of powder-to-water ratio on radiopacity, setting time, pH, calcium ion release and a micro-CT volumetric solubility of white mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 47(2), 120-126.
- Debelian, G.; Trope, M. (2016). The use of premixed bioceramic materials in endodontics. *G. Ital. Di Endod*, 30, 70-80.
- Duque, J. A., Fernandes, S. L., Bubola, J. P., Duarte, M. A. H., Camilleri, J., & Marciano, M. A. (2018). The effect of mixing method on tricalcium silicate-based cement. *Int Endod J*, 51(1), 69-78.
- Elyassi, Y., Moïnzadeh, A. T., & Kleverlaan, C. J. (2019). Characterization of leachates from 6 root canal sealers. *J Endod*, 45(5), 623-627.
- Gandolfi, M. G., Siboni, F., Botero, T., Bossù, M., Riccitiello, F., & Prati, C. (2015). Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J Appl Biomater Funct Mater*, 13(1), 43-60.
- Gaudin, A., Tolar, M., & Peters, O. A. (2020). Cytokine production and cytotoxicity of calcium silicate-based sealers in 2- and 3-dimensional cell culture models. *J Endod*, 46(6), 818-826.
- International Organization for Standardization (ISO 6876:2012). Dental root canal sealing materials <https://www.iso.org/standard/45117.html>
- Jung, S., Sielker, S., Hanisch, M. R., Libricht, V., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). Cytotoxic effects of four different root canal sealers on human osteoblasts. *PLoS one*, 13(3), e0194467.
- Katakidis, A., Sidiropoulos, K., Koulaouzidou, E., Gogos, C., & Economides, N. (2020). Flow characteristics and alkalinity of novel bioceramic root canal sealers. *Restor Dent Endod*, 45(4), e42.
- Khanam PN, AlMaadeed MAA. (2015). Processing and characterization of polyethylene-based composites. *Adv Manuf Polym Compos Sci*, 1:63-79.
- Kharouf, N., Armtz, Y., Eid, A., Zghal, J., Sauro, S., Haikel, Y., & Mancino, D. (2020). Physicochemical and antibacterial properties of novel, premixed calcium silicate-based sealer compared to powder-liquid bioceramic sealer. *J Clin Med*, 9(10), 3096.
- Kikly, A., Jaâfoura, S., Kammoun, D., & Sahtout, S. (2020). Sealing ability of endodontic cements: An in vitro study. *Int J Dent*, 5862598.
- Kim, Y., Kim, B. S., Kim, Y. M., Lee, D., & Kim, S. Y. (2019). The penetration ability of calcium silicate root canal sealers into dentinal tubules compared to conventional resin-based sealer: a confocal laser scanning microscopy study. *Materials (Basel)*, 12(3), 531.
- Loison-Robert, L. S., Tassin, M., Bonte, E., Berbar, T., Isaac, J., Berdal, A., Simon, S., & Fournier, B. P. J. (2018). In vitro effects of two silicate-based materials, Biodentine and BioRoot RCS, on dental pulp stem cells in models of reactionary and reparative dentinogenesis. *PLoS one*, 13(1), e0190014.
- Long, J., Kreft, J. U., & Camilleri, J. (2020). Antimicrobial and ultrastructural properties of root canal filling materials exposed to bacterial challenge. *J Dent*, 93, 103283.
- López-García, S., Myong-Hyun, B., Lozano, A., García-Bernal, D., Forner, L., Llana, C., Guerrero-Gironés, J., Murcia, L., & Rodríguez-Lozano, F. J. (2020). Cytocompatibility, bioactivity potential, and ion release of three premixed calcium silicate-based sealers. *Clin oral Investig*, 24(5), 1749-1759.
- Pramila R, Ramesh KV. (2011). Biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water—a SEM analysis. *Afr J Microbiol Res*, 5:5013–5018.
- Prüllage, R. K., Urban, K., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2016). Material properties of a tricalcium silicate-containing, a mineral trioxide aggregate-containing, and an epoxy resin-based root canal sealer. *J Endod*, 42(12), 1784-1788.
- Reyes-Carmona, J. F., Felipe, M. S., & Felipe, W. T. (2010). A phosphate-buffered saline intracanal dressing improves the biomineralization ability of mineral trioxide aggregate apical plugs. *J Endod*, 36(10), 1648-1652.
- Reyhani, M. F., Ghasemi, N., Zand, V., & Mosavizadeh, S. (2017). Effects of different powder to liquid ratios on the push out bond strength of CEM cement on simulated perforations in the furcal area. *J Clin Exp Dent*, 9(6), e785-e788.
- Sfeir, G., Zogheib, C., Patel, S., Giraud, T., Nagendrababu, V., & Bukiet, F. (2021). Calcium silicate-based root canal sealers: a narrative review and clinical perspectives. *Materials (Basel)*, 14(14), 3965.
- Siboni, F., Taddei, P., Zamparini, F., Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2017). Properties of bioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J*, 50 Suppl 2, e120-e136.
- Silva, D. F. da., Silva, L. L. C. da., Wanderley, C. T. B., & Vasconcelos, R. A. de. (2020). Bioceramic sealers in endodontics: integrative review. *Research, Society and Development*, 9(8), e882986439.
- Silva, E. J. N. L., Ferreira, C. M., Pinto, K. P., Barbosa, A. F. A., Colaço, M. V., & Sassone, L. M. (2021). Influence of variations in the environmental pH on the solubility and water sorption of a calcium silicate-based root canal sealer. *Int Endod J*, 54(8), 1394-1402.
- Tavares, K. I. M. C., Pinto, J. C., Santos-Junior, A. O., Torres, F. F. E., Guerreiro-Tanomaru, J. M., & Tanomaru-Filho, M. (2021). Micro-CT evaluation of filling of flattened root canals using a new premixed ready-to-use calcium silicate sealer by single-cone technique. *Microsc Res Tech*, 84(5), 976-981.
- Torres, F. F. E., Bosso-Martelo, R., Espir, C. G., Cirelli, J. A., Guerreiro-Tanomaru, J. M., & Tanomaru-Filho, M. (2017). Evaluation of physicochemical properties of root-end filling materials using conventional and Micro-CT tests. *J Appl Oral Sci*, 25(4), 374-380.

- Torres, F. F. E., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Pinto, J. C., & Tanomaru-Filho, M. (2021). Effect of different dimensions of test samples on the volumetric change assessment of endodontic materials. *Braz Dent J*, 32(1), 42-47.
- Torres, F. F. E., Zordan-Bronzel, C. L., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Chávez-Andrade, G. M., Pinto, J. C., & Tanomaru-Filho, M. (2020). Effect of immersion in distilled water or phosphate-buffered saline on the solubility, volumetric change and presence of voids within new calcium silicate-based root canal sealers. *Int Endod J*, 53(3), 385-391.
- Urban, K., Neuhaus, J., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). Solubility and pH value of 3 different root canal sealers: A long-term investigation. *J Endod*, 44(11), 1736-1740.
- Vo, K., Daniel, J., Ahn, C., Primus, C., & Komabayashi, T. (2022). Coronal and apical leakage among five endodontic sealers. *J Oral Sci*, 64(1), 95-98.
- Zamparini, F., Prati, C., Taddei, P., Spinelli, A., Di Foggia, M., & Gandolfi, M. G. (2022). Chemical-physical properties and bioactivity of new premixed calcium silicate-bioceramic root canal sealers. *Int J Mol Sci*, 23(22), 13914.
- Zhao, P., Lu, C., Gao, X. P., Yao, D. H., Cao, C. L., & Luo, Y. J. (2018). Regulating the microstructure of intumescent flame-retardant linear low-density polyethylene/nylon six blends for simultaneously improving the flame retardancy, mechanical properties, and water resistance. *ACS omega*, 3(6), 6962-6970.
- Zordan-Bronzel, C. L., Esteves Torres, F. F., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2019). Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *J Endod*, 45(10), 1248-1252.