

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/08/2027

DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA INFANTIL E SOCIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SAÚDE BUCAL DA CRIANÇA

Bianca Tiemi Uehara Lima

**Síntese e caracterização de trimetafosfato de magnésio,
associado ou não ao cálcio, e seu efeito em géis clareadores a
base de peróxido de hidrogênio a 35% - um estudo *in vitro***

Araçatuba - SP

2026

DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA INFANTIL E SOCIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SAÚDE BUCAL DA CRIANÇA

**Síntese e caracterização de trimetafosfato de magnésio,
associado ou não ao cálcio, e seu efeito em géis clareadores a
base de peróxido de hidrogênio a 35% - um estudo *in vitro***

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Saúde Bucal da Criança junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências – Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Araçatuba.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Carlos Botazzo Delbem

Araçatuba - SP

2026

Catálogo-na-Publicação (CIP)

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

Lima, Bianca Tiemi Uehara.

L732s Síntese e caracterização de trimetafosfato de magnésio, associado ou não ao cálcio, e seu efeito em géis clareadores a base de peróxido de hidrogênio a 35% : um estudo in vitro / Bianca Tiemi Uehara Lima. - Araçatuba, 2026

64 f. : il. ; tab.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araçatuba

Orientador: Prof. Alberto Carlos Botazzo Delbem

Coorientador: Prof. Leonardo Antônio de Moraes

1. Clareamento dental 2. Peróxido de hidrogênio 3. Fosfatos 4. Cálcio 5. Magnésio I. T.

Black D27

CDD 617.645

Dedicatória

Dedicatória

Aos meus pais Almir e Patrícia:

Por me criarem com tanto amor e carinho, pelo apoio incondicional e por sempre me mostrarem o valor do conhecimento. Sob o sol vocês resistiram, e na sombra que construíram eu cheguei até aqui. Sem vocês, nada seria possível.

Aos meus irmãos Yuji, Maitê e Milena:

Por serem a luz da minha vida e por me lembrarem que eu nunca estou sozinha.

À minha família:

Em especial ao meu avô Mário (*in memoriam*), que mesmo sem ter concluído seus estudos, sabia da importância da educação e me incentivou a terminar a faculdade.

Ao meu namorado Rafael:

Que divide o árduo caminho da Odontologia comigo, sendo meu porto seguro e calma nos dias difíceis. Você acreditou em mim até quando eu mesma duvidei. Obrigada por transformar cansaço em descanso.

Agradecimentos especiais

Agradecimentos especiais

Ao meu orientador Prof. Alberto Carlos Botazzo Delbem:

Pela confiança e paciência ao longo de todo o caminho. Obrigada por orientar não apenas este trabalho, mas também meu crescimento acadêmico.

À Prof. Dra. Thamires Priscila Cavazana Souza:

Pela atenção, generosidade e ensinamentos que fizeram parte da minha formação no laboratório e na clínica.

À Prof. Dra. Ana Bheatriz Marangoni Montes Alves:

Por ter me acolhido tão bem em seu consultório e ter plantado a sementinha da Odontopediatria em mim.

Aos professores do departamento de Odontopediatria:

Que contribuíram, cada um à sua forma, para minha trajetória na Pós-Graduação.

Aos meus amigos:

Tanto os que me acompanharam desde o começo da Graduação quanto os novos que fiz durante o Mestrado, muito obrigada pela companhia e pelos momentos descontraídos, que foram essenciais nessa etapa tão intensa.

Agradecimientos

Agradecimentos

À **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, representada pelo Diretor da Faculdade de Odontologia de Araçatuba, **Prof. Tit. Alberto Carlos Botazzo Delbem**, e pelo Vice-Diretor, **Prof. Assoc. Luciano Tavares Ângelo Cintra**.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ciências** da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP, na figura de seu Coordenador, **Prof. Assoc. Rogério de Castilho Jacinto**, pelo compromisso com a excelência e pela seriedade na condução do programa.

Aos colaboradores da **Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação** da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP, pela dedicação e profissionalismo demonstrados.

Aos **funcionários da área de Odontopediatria** da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP pelo apoio constante, atenção e disponibilidade ao longo deste período.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, Brasil, pelo apoio institucional e financeiro – Código de Financiamento 001.

Epígrafe

Epígrafe

“A infância é um chão que pisamos a vida inteira”

Lya Luft

Resumo

RESUMO

Lima, BTU. **Síntese e caracterização de trimetafosfato de magnésio, associado ou não ao cálcio, e seu efeito em géis clareadores a base de peróxido de hidrogênio a 35% - um estudo *in vitro*.** 2026. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de Saúde Bucal da Criança) - Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba 2026.

Este estudo teve como objetivo sintetizar e caracterizar o trimetafosfato de magnésio (MgTMP) e o trimetafosfato de magnésio associado ao cálcio (CaMgTMP), bem como avaliar a eficácia clareadora e os impactos estruturais de géis à base de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 35% contendo esses compostos. Inicialmente, MgTMP e CaMgTMP foram sintetizados e caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios x (EDS) para análise morfológica das partículas e composição química. Em seguida, os compostos foram incorporados a géis clareadores experimentais. Os géis clareadores foram aplicados em discos de esmalte bovino ($n = 10/\text{grupo}$): 1) Placebo (água deionizada); 2) 35% HP; 3) 35% HP + 1% de MgTMP; e 4) 35% HP + 1% de CaMgTMP. As aplicações foram realizadas semanalmente (40 min) durante 21 dias. As alterações de cor foram analisadas por meio dos parâmetros ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWI_D . Também foram avaliadas a dureza superficial (SH), a porcentagem de perda de dureza superficial (%SH) e a difusão trans-amelodentinária do H_2O_2 (ANOVA/Student-Newman-Keuls, $\alpha = 5\%$). Todos os grupos clareadores promoveram alterações de cor significativas e semelhantes ($p > 0,05$), indicando que a incorporação de MgTMP ou CaMgTMP não comprometeu a eficácia do clareamento. Em relação às propriedades estruturais, os grupos contendo 1% de MgTMP e 1% de CaMgTMP apresentaram menor perda de dureza superficial e menor difusão de H_2O_2 quando comparados ao grupo 35% HP ($p < 0,05$), sendo que o grupo CaMgTMP apresentou o melhor desempenho protetor. A incorporação de MgTMP e CaMgTMP em géis clareadores de alta concentração representa uma estratégia promissora para reduzir a desmineralização do esmalte e a difusão do peróxido em direção à câmara pulpar, sem comprometer o resultado estético do clareamento.

Palavras-Chave: Clareamento Dental, Peróxido de Hidrogênio, Fosfatos, Cálcio, Magnésio.

Abstract

ABSTRACT

Lima, BTU. **Synthesis and characterization of magnesium trimetaphosphate, associated or not with calcium, and its effect on 35% hydrogen peroxide-based bleaching gels - an *in vitro* study.** 2026. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de Saúde Bucal da Criança) - Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba 2026.

This study aimed to synthesize and characterize magnesium trimetaphosphate (MgTMP) and calcium-associated magnesium trimetaphosphate (CaMgTMP), and to evaluate the whitening efficacy and structural impacts of 35% hydrogen peroxide (H₂O₂) gels containing these compounds. This study aimed to synthesize and characterize magnesium trimetaphosphate (MgTMP) and magnesium trimetaphosphate associated with calcium (CaMgTMP), as well as to evaluate the whitening efficacy and structural impacts of 35% hydrogen peroxide (H₂O₂)-based bleaching gels containing these compounds. Initially, MgTMP and CaMgTMP were synthesized and characterized by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive spectroscopy (EDS) to analyze particle morphology and chemical composition. Subsequently, the compounds were incorporated into experimental bleaching gels. The bleaching gels were applied to bovine enamel discs. (*n* = 10/group): 1) Placebo (deionized water); 2) 35% HP; 3) 35% HP + 1% MgTMP; and 4) 35% HP + 1% CaMgTMP. Applications were performed weekly (40 min) for 21 days. Color changes were analyzed using ΔE_{ab} , ΔE_{00} and ΔWI_D . Surface hardness (SH), percentage of SH loss (%SH), and trans-enamel/dentinal H₂O₂ diffusion were also evaluated (ANOVA/Student-Newman-Keuls, $\alpha = 5\%$). All whitening groups promoted significant and similar color changes ($p > 0.05$), indicating that MgTMP or CaMgTMP did not compromise whitening efficacy. Regarding structural properties, the 1% MgTMP and 1% CaMgTMP groups showed significantly lower surface hardness loss and reduced H₂O₂ diffusion compared to the 35% HP group ($p < 0.05$), with the CaMgTMP group exhibiting the best protective performance. The incorporation of MgTMP and CaMgTMP into high-concentration whitening gels represents a promising strategy to mitigate enamel demineralization and reduce peroxide diffusion into the pulp chamber without affecting the aesthetic clinical outcome.

Keywords: Dental Bleaching; Hydrogen Peroxide; Phosphates; Calcium; Magnesium.

Sumário

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1. Delineamento Experimental.....	19
2.2. Síntese e Caracterização do MgTMP e CaMgTMP.....	20
2.3. Composição dos Géis Clareadores e Grupos Experimentais.....	21
2.4. Preparo dos Discos de Esmalte/Dentina.....	21
2.5. Preparo da Superfície de Esmalte.....	22
2.6. Análise de Cor	
2.6.1. Pigmentação dos Discos de Esmalte/Dentina.....	22
2.6.2. Aplicação dos Géis Clareadores.....	23
2.6.3. Mensuração da Cor Após o Protocolo de Clareamento.....	23
2.6.4. Cálculo da Alteração de Cor.....	24
2.7. Análise da Dureza Superficial.....	24
2.8. Análise da Difusão Trans-amelodentinária de H ₂ O ₂	25
2.9. Análise Estatística.....	27
3. RESULTADOS	
3.1. Caracterização do MgTMP e CaMgTMP.....	27
3.2. Alteração de Cor.....	28
3.3. Dureza Superficial.....	30
3.4. Difusão Trans-amelodentinária de H ₂ O ₂	31
4. DISCUSSÃO.....	32
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	37
7. ANEXOS.....	45

1. INTRODUÇÃO

A valorização da estética tem intensificado a demanda por procedimentos odontológicos cosméticos, particularmente o clareamento dental [1]. O clareamento em consultório utilizando altas concentrações de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é amplamente empregado devido à sua elevada eficácia clínica [2,3]. O H_2O_2 é composto por moléculas pequenas que se difundem através do esmalte e da dentina, promovendo a fragmentação de pigmentos orgânicos [4]. Entretanto, sua rápida decomposição libera espécies reativas de oxigênio (EROs), capazes de induzir a desproteinização [5], a desmineralização do esmalte e a redução da dureza superficial [6,7]. Além disso, a rápida difusão do agente clareador pode promover o deslocamento do fluido intratubular e ativar nociceptores [8], levando à inflamação pulpar e até necrose [9,10].

Conseqüentemente, a sensibilidade dentária constitui um desafio clínico frequente [1,11].

Nesse contexto, pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de géis clareadores funcionalizados com compostos bioativos, com o objetivo de modular a penetração do H_2O_2 e preservar a estrutura mineral [12,13]. O trimetafosfato de sódio (NaTMP) tem despertado interesse devido à sua capacidade de se adsorver à superfície do esmalte e interagir com a hidroxiapatita [7,14]. O NaTMP modula o transporte de cálcio (Ca) e fósforo (P), contribuindo para a retenção mineral e a formação de cristais mais estáveis [15]. Avanços recentes demonstram que a substituição do sódio (Na) por cátions divalentes pode potencializar essa interação. A substituição do Na por Ca no trimetafosfato apresentou efeitos favoráveis sobre as propriedades do esmalte, como a redução da perda mineral e da dureza durante o clareamento [16,17].

Considerando que o esmalte dental é composto por apatita biológica contendo diversos íons estruturais, a ampliação dessa abordagem para o magnésio (Mg) mostra-se

pertinente. Em condições fisiológicas, o Mg se acumula no fosfato de cálcio amorfo, desempenhando papel fundamental na modulação do crescimento cristalino e influenciando as propriedades mecânicas do esmalte [18–20]. Dessa forma, a incorporação do Mg ao trimetafosfato (MgTMP) ou sua associação com Ca (CaMgTMP) surge como uma estratégia promissora para intensificar a interação do composto com o esmalte e potencialmente estabilizar a organização cristalina durante o clareamento.

Entretanto, até o momento, não há estudos que avaliem se a substituição do Na por Mg no trimetafosfato é capaz de modular a difusão trans-amelodentinária do H_2O_2 e preservar a estabilidade mineral. Assim, o objetivo deste estudo foi sintetizar, caracterizar e avaliar os efeitos do MgTMP e do CaMgTMP associados ao H_2O_2 a 35% sobre a eficácia clareadora, a difusão do H_2O_2 e a dureza superficial do esmalte. A hipótese nula foi de que a incorporação de MgTMP ou CaMgTMP não afetaria esses parâmetros.

O presente estudo demonstrou a viabilidade da síntese de MgTMP e CaMgTMP por meio da substituição total do Na no trimetafosfato, bem como sua aplicação subsequente em géis clareadores. A incorporação desses compostos reduziu a perda de dureza superficial e a difusão trans-amelodentinária de H₂O₂, sem interferir na eficácia do clareamento, indicando seu potencial bioativo e relevância clínica.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Sr. Elton José de Souza e ao Laboratório de Microscopia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP (LaMIS) pelas análises de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva de raios X. Os autores também agradecem à Profa. Lara Maria Bueno Esteves e à aluna de mestrado Alice de Oliveira Santos, do Laboratório de Dentística da Faculdade de Odontologia de Araçatuba (FOA-UNESP), pelo auxílio nas análises de difusão trans-amelodentinária.

6. REFERÊNCIAS

- [1] da Silva KL, Favoreto MW, Camargo CM, Hul EA, da Cruz KR, Pereira LFP, et al. Tooth sensitivity in different arches post in-office dental bleaching: A multicenter randomized controlled trial. *J Dent*, 2024; 151:105383. doi:10.1016/j.jdent.2024.105383
- [2] Haywood VB and Li Y. *Tooth whitening/bleaching: treatment considerations for dentists and their patients*. Chicago: American Dental Association Council on Scientific Affairs; 2009.
- [3] Mounika A, Mandava J, Roopesh B and Karri G. Clinical evaluation of color change and tooth sensitivity with in-office and home bleaching treatments. *Indian J Dent Res*, 2018; 29(4):423-7. doi:10.4103/ijdr.IJDR_330_17
- [4] Sulieman M, Addy M, Macdonald E and Rees JS. The bleaching depth of a 35%

hydrogen peroxide based in-office product: a study in vitro. *J Dent*, 2005; 33(1):33-40.

doi:10.1016/j.jdent.2004.08.003

[5] Soares FF. Clareamento em dentes vitais: uma revisão literária.

<https://www.google.com/search?q=Saude.com>, 2007; 4(1):72-84.

[6] D'Amario M, D'Attilio M, Baldi M, De Angelis F, Marzo G, Vadini M, et al.

Histomorphologic alterations of human enamel after repeated applications of a

bleaching agent. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 2012; 25(4):1021-7.

doi:10.1177/039463201202500418

[7] Akabane STF, Danelon M, Nunes GP, Gruba AS, de Souza-Costa CA, Duque CC,

et al. Evaluation of the aesthetic effect, enamel microhardness and trans-enamel/dentinal cytotoxicity of a new bleaching agent for professional use containing trimetaphosphate

and fluoride. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2021; 114:104225.

doi:10.1016/j.jmbbm.2020.104225

[8] Costa CA, Riehl H, Kina JF, Sacono NT and Hebling J. Human pulp responses to

in-office tooth bleaching. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2010;

109(4):e59-64. doi:10.1016/j.tripleo.2009.12.002

[9] Briso AL, Lima AP, Gonçalves RS, Gallinari MO and dos Santos PH. Transenamel

and transdentinal penetration of hydrogen peroxide applied to cracked or

microabraded enamel. *Oper Dent*, 2014; 39(2):166-73. doi:10.2341/12-364-L

[10] Benetti F, Briso ALF, Carminatti M, de Araújo Lopes JM, Barbosa JG, Ervolino E,

et al. The presence of osteocalcin, osteopontin and reactive oxygen species-positive

cells in pulp tissue after dental bleaching. *Int Endod J*, 2019; 52(5):665-675.

doi:10.1111/iej.13049

[11] Rezende M, Loguercio AD, Kossatz S and Reis A. Predictive factors on the

efficacy and risk/intensity of tooth sensitivity of dental bleaching: A multi regression

and logistic analysis. *J Dent*, 2016; 45:1-6. doi:10.1016/j.jdent.2015.11.002

[12] Gruba AS, Nunes GP, Marques MT, Danelon M, Alves RO, de Toledo PTA, et al. Influence of bleaching gels formulated with nano-sized sodium trimetaphosphate and fluoride on the physicochemical, mechanical, and morphological properties of dental enamel. *J Dent*, 2023; 139:104743. doi:10.1016/j.jdent.2023.104743

[13] Silva KL, Hortkoff D, Gorte G, Gumy F, Favoreto MW, Loguercio AD, et al. Evaluation of hydrogen peroxide diffusion in the pulp chamber, bleaching efficacy, and physicochemical properties of an experimental in-office bleaching gel containing a hydroxyapatite-capsaicin composite. *Odontology*, 2025; 113(3):944-55. doi:10.1007/s10266-024-00969-w

[14] Amaral JG, Pessan JP, Souza JAS, Moraes JCS and Delbem ACB. Cyclotriphosphate associated to fluoride increases hydroxyapatite resistance to acid attack. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2018; 106(7):2553-2564. doi:10.1002/jbm.b.34073

[15] Nunes GP, Danelon M, Pessan JP, Capalbo LC, Junior NAN, Matos AA, et al. Fluoride and trimetaphosphate association as a novel approach for remineralization and antiproteolytic activity in dentin tissue. *Arch Oral Biol*, 2022; 142:105508. doi:10.1016/j.archoralbio.2022.105508

[16] Nunes GP, Batista GF, de Toledo PTA, Martins TP, Alves RO, Fernandes AVP, et al. Synthesis and application of calcium cyclotriphosphate in bleaching formulations: Effects on dental enamel properties. *J Dent*, 2025; 155:105614. doi:10.1016/j.jdent.2025.105614

[17] Fernandes AVP, Nunes GP, Urzedo LOR, de Toledo PTA, Martins TP, Alves RO, et al. Total sodium replacement by calcium in trimetaphosphate and its incorporation into dental whitening gels: A novel strategy for in-office treatment. *J Dent*, 2025;

160:105861. doi:10.1016/j.jdent.2025.105861

[18] Boskey AL and Posner AS. Magnesium stabilization of amorphous Ca-phosphate: a kinetic study. *Mater Res Bull*, 1974; 9(8):907-16. doi:10.1016/0025-5408(74)90022-3

[19] Ding H, Pan H, Xu X and Tang R. Toward a Detailed Understanding of Magnesium Ions on Hydroxyapatite Crystallization Inhibition. *Cryst Growth Des*, 2014; 14(2):763-769. doi:10.1021/cg401619u

[20] Kis VK, Sulyok A, Hegedűs M, Kovács I, Rózsa N and Kovács Z. Magnesium incorporation into primary dental enamel and its effect on mechanical properties. *Acta Biomater*, 2021; 120:104-115. doi:10.1016/j.actbio.2020.11.018

[21] de Toledo PTA, Delbem ACB, Cannon ML, Sakamoto AE and Pedrini D. The effect of toothpaste with reduced concentration of fluoride-containing sodium trimetaphosphate and polyols on initial enamel erosion. *Clin Oral Investig*, 2022; 26(12):7243-7252. doi:10.1007/s00784-022-04686-6

[22] Caneppele TM, Rocha Gomes Torres C and Bresciani E. Analysis of the Color and Fluorescence Alterations of Enamel and Dentin Treated With Hydrogen Peroxide. *Braz Dent J*, 2015; 26(5):514-8. doi:10.1590/0103-6440201300405

[23] Sulieman M, Addy M and Rees JS. Development and evaluation of a method in vitro to study the effectiveness of tooth bleaching. *J Dent*, 2003; 31(6):415-22. doi:10.1016/s0300-5712(03)00068-1

[24] Cintra LT, Benetti F, Ferreira LL, Rahal V, Ervolino E, Jacinto RC, et al. Evaluation of an experimental rat model for comparative studies of bleaching agents. *J Appl Oral Sci*, 2016; 24(2):171-80. doi:10.1590/1678-775720150393

[25] Efeoglu N, Wood D and Efeoglu C. Microcomputerised tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. *J Dent*, 2005; 33(7):561-7. doi:10.1016/j.jdent.2004.12.001

- [26] Gonçalves RS, Costa CA, Soares DG, dos Santos PH, Cintra LT and Briso AL. Effect of Different Light Sources and Enamel Preconditioning on Color Change, H₂O₂ Penetration, and Cytotoxicity in Bleached Teeth. *Oper Dent*, 2016; 41(1):83-92. doi:10.2341/14-150-L
- [27] Takeshita EM, Castro LP, Sasaki KT and Delbem AC. In vitro evaluation of dentifrice with low fluoride content supplemented with trimetaphosphate. *Caries Res*, 2009; 43(1):50-6. doi:10.1159/000189706
- [28] Vieira AE, Delbem AC, Sasaki KT, Rodrigues E, Cury JA and Cunha RF. Fluoride dose response in pH-cycling models using bovine enamel. *Caries Res*, 2005; 39(6):514-20. doi:10.1159/000088189
- [29] Sharma G, Wu W and Dalal EN. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Res Appl*, 2005; 30(1):21-30. doi:10.1002/col.20070
- [30] Cruz NV, Pessan JP, Manarelli MM, Souza MD and Delbem AC. In vitro effect of low-fluoride toothpastes containing sodium trimetaphosphate on enamel erosion. *Arch Oral Biol*, 2015; 60(9):1231-6. doi:10.1016/j.archoralbio.2015.05.011
- [31] Takeshita EM, Danelon M, Castro LP, Sasaki KT and Delbem AC. Effectiveness of a Toothpaste with Low Fluoride Content Combined with Trimetaphosphate on Dental Biofilm and Enamel Demineralization in situ. *Caries Res*, 2015; 49(4):394-400. doi:10.1159/000381653
- [32] Manarelli MM, Moretto MJ, Sasaki KT, Martinhon CC, Pessan JP and Delbem AC. Effect of fluoride varnish supplemented with sodium trimetaphosphate on enamel erosion and abrasion. *Am J Dent*, 2013; 26(6):307-12. (PMID: 24654298)
- [33] Manarelli MM, Vieira AE, Matheus AA, Sasaki KT and Delbem AC. Effect of mouth rinses with fluoride and trimetaphosphate on enamel erosion: an in vitro study.

Caries Res, 2011; 45(6):506-9. doi:10.1159/000331210

[34] Trindade FZ, Ribeiro AP, Sacono NT, Oliveira CF, Lessa FC, Hebling J, et al. Trans-enamel and trans-dentinal cytotoxic effects of a 35% H₂O₂ bleaching gel on cultured odontoblast cell lines after consecutive applications. *Int Endod J*, 2009; 42(6):516-24. doi:10.1111/j.1365-2591.2009.01544.x

[35] Mottola HA, Simpson BE and Gorin G. Absorptiometric determination of hydrogen peroxide in submicrogram amounts with leuco crystal violet and peroxidase as catalyst. *Anal Chem*, 1970; 42(3):410-1. doi:10.1021/ac60285a024

[36] Paravina RD, Pérez MM and Ghinea R. Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *J Esthet Restor Dent*, 2019; 31(2):103-12. doi:10.1111/jerd.12465

[37] Pérez MM, Ghinea R, Rivas MJ, Yebra A, Ionescu AM, Paravina RD, et al. Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space. *Dent Mater*, 2016; 32(3):461-7. doi:10.1016/j.dental.2015.12.008

[38] Kwon SH and Wertz PW. Review of the mechanism of tooth whitening. *J Esthet Restor Dent*, 2015; 27(5):240-57. doi:10.1111/jerd.12152

[39] Abdallah MN, Eimar H, Bassett DC, Schnabel M, Ciobanu O, Nelea V, et al. Diagenesis-inspired reaction of magnesium ions with surface enamel mineral modifies properties of human teeth. *Acta Biomater*. 2016 Jun;37:174-83. doi:10.1016/j.actbio.2016.04.005

[40] Eric J, Ciobanu O, Abdallah MN, Nelea VD, Gupta N, Abotaleb A, et al. The effect of Hydrogen Peroxide treatments on dental enamel porosity and protein structure and its long-term implications on tooth hardness and optical properties. *J Dent*, 2025; 156:105714. doi:10.1016/j.jdent.2025.105714

[41] Passos VF, Rodrigues LKA and Santiago SL. The effect of magnesium hydroxide-

containing dentifrice using an extrinsic and intrinsic erosion cycling model. *Arch Oral Biol*, 2018; 86:46-50. doi:10.1016/j.archoralbio.2017.11.006

[42] Reynolds EC. Calcium phosphate-based remineralization systems: scientific evidence? *Aust Dent J*, 2008; 53(3):268-73. doi:10.1111/j.1834-7819.2008.00061.x

[43] Torres C, Zanatta RF, Silva TJ and Borges AB. Effect of Calcium and Fluoride Addition to Hydrogen Peroxide Bleaching Gel On Tooth Diffusion, Color, and Microhardness. *Oper Dent*, 2019; 44(4):424-32. doi:10.2341/18-058-L

[44] Elfallah HM, Bertassoni LE, Charadram N, Rathsam C and Swain MV. Effect of tooth bleaching agents on protein content and mechanical properties of dental enamel. *Acta Biomater*, 2015; 20:120-8. doi:10.1016/j.actbio.2015.03.035