



UNESP- Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa

**Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos
clareadores**

Araraquara

2022



UNESP- Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa

**Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos
clareadores**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas, área de concentração em Dentística Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Orientador: Hermes Pretel

Araraquara

2022

C837a	Costa, Joatan Lucas de Sousa Gomes Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos clareadores / Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa. -- Araraquara, 2022 79 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara Orientador: Hermes Pretel 1. Clareamento dental. 2. Fotodegradação. 3. Luz. 4. Acidificação. 5. Temperatura. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa

Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos clareadores

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de Doutor

Presidente e orientador : Prof. Dr. Hermes Pretel

2º Examinador: Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Junior

3º Examinador: Prof. Dr. Oscar Fernando Muñoz Chávez

4º Examinador: Prof. Dr. Fernando Luis Esteban Florez

5º Examinador: Prof. Dr. Eduardo Maximiliano Fernández Godoy

Araraquara, 13 de dezembro de 2022.

DADOS CURRICULARES

Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa

NASCIMENTO: 29/12/1992 – Maceió – Alagoas

FILIAÇÃO: Joatan Gomes Costa
Tereza Cristina de Sousa Costa

2011-2016: Graduação em Odontologia.
Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Brasil.

2014-2014: Aperfeiçoamento 2 em 1- Teoria prática e laboratorial em typodont.
DentalPós Cursos Odontológicos, Maceió, AL.

2015-2015: Aperfeiçoamento em Dentística Estética Direta. Associação Brasileira de Odontologia (ABO)- Seção de Alagoas, Maceió, AL.

2017-2017: Aperfeiçoamento em Resinas Compostas: Uma abordagem Bioinspirada baseada em evidências. Oral Studio Instituto, São Carlos, SP.

2017-2019: Mestrado em Ciências Odontológicas, área de Dentística Restauradora.
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Araraquara, SP.

2019-2022: Doutorado em Ciências Odontológicas, área de Dentística Restauradora.
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Araraquara, SP.

Dedico

Aos meus pais,

Seja no plano presente ou além da vida, estaremos sempre juntos!

AGRADECIMENTOS

À minha família, por ter me mandado forças de longe e sempre levantando minha cabeça quando pensei em fraquejar.

À Cássia, pessoa fundamental que esteve do meu lado me dando força quando precisei ao longo deste doutorado.

Agradeço aos meus amigos de pós-graduação que me aturaram ao longo dessa caminhada e me fizeram perceber que não estava sozinho nela. Entre profissionalismo e ajudas diárias, choros de desabafo e companhia nos momentos de prazer, marcaram minha história e levarei sempre comigo onde estiver.

Agradeço ao corpo docente do programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas, representado pela coordenadora Prof^a. Dr^a. Andreia Bufalino e vice coordenador Prof. Dr. Milton Carlos Kuga, por todo e qualquer ensinamento.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Hermes Pretel, pela oportunidade de trabalhar numa área de pesquisa inovadora e por todo o conhecimento compartilhado para o aprendizado adquirido ao longo do meu doutorado.

Ao Magnífico Reitor Prof. Dr. Pascoal Barreti e Vice-Reitora Prof^a. Dr^a. Maysa Furlan da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

À Faculdade de Odontologia de Araraquara, representados pelo Diretor Prof^a. Dr. Edson Alves de Campos e Vice-Diretora Prof^a. Dr^a. Patrícia Petromilli Nordi Sasso Garcia.

Agradeço a todo o corpo docente da disciplina de Dentística Restauradora, Prof^a Dr^a Alessandra Nara de Souza Rastelli, Prof^a Dr^a Andréa Abi Rached Dantas, Prof. Dr. Edson Alves de Campos, Prof. Dr. José Roberto Cury Saad, Prof. Dr. Marcelo Ferrarezi Andrade e Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Júnior por todo e qualquer ensinamento ao longo do meu Doutorado.

Agradeço à seção técnica de pós-graduação pela gentileza e recepção de sempre, obrigado Cristiano e Alexandre.

Agradeço à Creusa, nossa mãezona no departamento de Odontologia Restauradora, por toda a convivência, motivações e risadas diárias que tornaram os dias de trabalho mais prazerosos.

Aos Profs. Drs. Osmir Batista de Oliveira Junior e Fernando Luis Esteban Florez, que comporam a banca examinadora do meu exame de qualificação e, por cada contribuição e momentos de conversa, serviram de inspiração com o profissionalismo e acessibilidade que tiveram comigo e o respeito por meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Milton Carlos Kuga, por todo apoio, generosidade, pela confiança de trabalharmos juntos e parceria que me permitiu crescer profissional e pessoalmente.

Agradeço à Ana Cristina por todo cuidado, atenção e paciência ao me auxiliar na formatação da minha tese.

À CAPES: o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“A persistência é o menor caminho do êxito”

*Charles Chaplin**

* Chaplin C. Vida e pensamentos. Sumaré: Martin Claret; 1997. p. 118.

Costa JLSG. Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos clareadores [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022.

RESUMO

O presente estudo teve o objetivo de avaliar pH, potencial elétrico (EP) e temperatura de diferentes protocolos de clareamento dental. Foram realizados 3 estudos in vitro: o primeiro que utilizou apenas gel de concentrações diferentes (n=9, por grupo). No segundo, os grupos foram divididos em apenas gel com ou sem a presença presença de luz. No terceiro, foram utilizados 84 dentes terceiros molares permanentes (n=14, por grupo). O estudo experimental foi dividido em 12 grupos variando de acordo com presença ou não de manchamento nos espécimes dentários, concentração de peróxido de hidrogênio (HP) utilizada e presença ou não de luz violeta no protocolo. As concentrações de HP utilizadas foram de 6%, 15% e 35%. Foram avaliados pH, EP e temperatura durante o clareamento com auxílio de um pHmetro em cada grupo nos intervalos de: 1, 5, 10, 15 e 30 min. Os dados foram analisados por ANOVA de medidas repetidas com pós-teste de Bonferroni ($\alpha=0,05$).

Palavras Chave: Clareamento dental. Fotodegradação. Luz. Acidificação. Temperatura.

Costa JLSG. Evaluation of the variation of electrical potential and pH of different bleaching protocols [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate pH, electric potential(EP) and temperature of different tooth whitening protocols. Three in vitro studies were performed: the first used only gels of different concentrations (n=9, per group). In the second, the groups were divided into only gel with or without the presence of flashing light. In the third, 84 permanent third molar teeth were used (n=14, per group). The experimental study was divided into 12 groups, varying according to the presence or absence of staining in the dental specimens, the concentration of hydrogen peroxide (HP) used and the presence or absence of flashing violet light in the protocol. The HP concentrations used were 6%, 15% and 35%. pH, EP and temperature were evaluated during bleaching with the aid of a pH meter in each group at intervals of: 1, 5, 10, 15 and 30 min. Data were analyzed by repeated measures ANOVA with Bonferroni post-test ($\alpha=0.05$).

Keywords: Tooth Bleaching. Photobleaching. Light. Acidification. Temperature.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROPOSIÇÃO.....	14
2.1 Objetivos Específicos.....	14
3 PUBLICAÇÃO (ÇÕES).....	15
3.1 Publicação 1	15
3.2 Publicação 2	30
3.3 Publicação 3	48
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXOS	78

1 INTRODUÇÃO

A supervalorização da estética diante de uma melhor aparência do sorriso na sociedade contemporânea tem exigido a busca de materiais e técnicas que contribuam para resultados estéticos satisfatórios. Devido a isso, o clareamento dentário é um tratamento conservador bastante requisitado e aceito tanto por pacientes como por clínicos por fornecer um aspecto mais harmônico do sorriso sem grandes mudanças na estrutura dental e com baixo custo^{1,2}.

O peróxido de hidrogênio (HP) é o princípio ativo mais utilizado no clareamento, sendo aplicado diretamente sobre o dente ou por meio de reações químicas de precursores como o perborato de sódio ou peróxido de carbamida^{1,3,4}. Clareamentos dentais têm como princípio básico degradar moléculas orgânicas compostas por anéis aromáticos que apresentam longas cadeias com ligações duplas entre carbonos impregnados no elemento dental denominadas de cromóforos. A degradação dos cromóforos acontece por meio de radicais livres liberados por peróxidos que por serem altamente reativos e de baixo peso molecular, penetram na estrutura dental e ao reagir com as moléculas citadas, às transformam em estruturas saturadas, havendo mudança no espectro de absorção de luz e apresentando um aspecto mais claro^{1,4-6}.

No entanto, o alto poder de difusão do HP e a não seletividade de seus radicais livres apenas pelos cromóforos podem gerar preocupações de biocompatibilidade e citotoxicidade⁷, além de alterações na superfície dental^{8,9} e reações nas membranas das células pulpares que ocasionam a morte das mesmas por peroxidação lipídica¹⁰, resultando na sensibilidade pós clareamento (BS)^{11,12}. Esse tipo de sensibilidade é o efeito adverso mais comum proveniente do clareamento dental e está diretamente relacionada com a concentração do gel clareador e seu tempo de exposição aos tecidos dentais¹³⁻¹⁵. Ademais, pode-se citar fatores relacionados ao pH e composição química do gel clareador como influenciadores de efeitos adversos¹⁶.

Até o presente momento, a teoria de hipersensibilidade mais aceita é a hidrodinâmica que consiste em afirmar que os estímulos recebidos pelo dente induzem mudanças na movimentação do fluido dentinário encontrado dentro dos túbulos dentinários, promovendo deformação dos prolongamentos odontoblásticos e assim, geram o estímulo nervoso da dor proveniente das terminações nervosas da polpa dentária¹⁷.

Além da teoria acima, convém mencionar que o tecido pulpar dos dentes se compõe de tecido conjuntivo especializado com alta densidade neural, propiciando sinais de alerta de qualidade aversiva¹⁸. O tecido pulpar fica alojado em câmara rígida, e é incapaz de se expandir, é possível que a presença de radicais livres de oxigênio, que se formaram por meio do clareador, exerçam pressão nas fibras nervosas da polpa, e causem deformação nos neurônios pulpares ao ponto de excitarem os receptores das terminações nervosas e desencadearem a resposta aguda em forma de sensibilidade^{11,13}. A percepção de BS proveniente do clareamento dental apresenta sintomas peculiares em forma de “choques elétricos” que se originam de maneira instantânea e pontiaguda de duração rápida e é descrita na literatura como “efeito Zinger”^{13,19}.

Atualmente, os géis clareadores de alta concentração de HP ainda são os mais utilizados por resultarem em mudanças de cor mais rapidamente nas primeiras sessões¹⁵. No entanto, sabendo que difusão de HP é proporcional à concentração do gel clareador, novos produtos de baixa concentração vêm sendo testados e apresentando bons resultados estéticos com menor desconforto para o paciente²⁰⁻²².

Além dessa tendência da utilização géis de baixa concentração, tem sido visto frequentemente a associação com LEDs e lasers que são considerados um avanço de tecnologia que promove interação com o gel de forma fototérmica, ou fotoquímica, de forma a acelerar a produção e a vibração de radicais livres ao interagir com as moléculas cromóforas de pigmentos, melhorando assim a performance do processo clareador²⁰⁻²².

No entanto, a avaliação do uso de clareamento fotoacelerado com luz deve ser explorada devido justamente ao aumento exacerbado da liberação de radicais livres que podem gerar variações do pH do agente clareador^{8,16,23-25}, bem como sua a variação da temperatura interna^{26,27} a fim de compreender o limite tolerável para não provocar alteração pulpar, resultando em possíveis pulpites^{28,29} e ocasionar efeitos colaterais relacionados à BS.

Outro detalhe importante de se mencionar é que os radicais livres como oxigênio, hidroperoxil, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, ozônio e hidroxil, possuem diferentes potenciais redox (E^0 , em Volts; +1,229 V, +1,510 V, + 1,630 V, + 1,780 V, + 2,075 V e + 2,800 V, respectivamente), em que quanto maior o potencial redox, mais reativo é o radical³⁰. Essas diferentes eletro-voltagens promovem variação de potencial elétrico (EP) durante o procedimento de clareamento dental,

conforme foi observado por Pretel et al.³¹, e tendo em mente que o princípio de que as membranas neuronais das células pulpares se encontram em repouso e desencadeiam respostas quando excitadas³²⁻³⁴, surge a hipótese de que a energia liberada pelos radicais livres pode desencadear alterações no processo de despolarização nervosa e promover a sensibilidade no clareamento dental^{31,32}. Logo, procedimentos que apresentam maior potencial elétrico em volts exibirão resultados estéticos mais eficazes, mas também, maiores incidências de BS.

Baseado na correlação entre pH e mV previamente descrita por Pretel et al.³¹, o objetivo foi avaliar a cinética de pH, mV e da temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio com adição ou não do protocolo de luz violeta com laser infravermelho (LED/laser) num tempo padronizado de 30 min e corroborar essas informações com a possibilidade de influência na presença de BS por despolarização nervosa. A hipótese nula considerada é que as diferentes concentrações de HP e protocolos com ou sem fotoaceleração com LED violeta/Laser infravermelho não apresentam diferenças na cinética de pH, EP e temperatura ao longo do procedimento.

2 PROPOSIÇÃO

Avaliar a cinética química das variações de pH, potencial elétrico e temperatura de diferentes concentrações e protocolos de clareamento dental.

2.1 Objetivos Específicos

- Publicação 1: Avaliação in vitro das variações de pH e potencial elétrico de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio.
- Publicação 2: Avaliação in vitro das variações de pH, potencial elétrico e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio fotoacelerados ou não com LED/laser sem substrato dental.
- Publicação 3: Avaliação in vitro das variações de pH, potencial elétrico e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio fotoacelerados ou não com LED/laser em substratos dentais manchados e não manchados.

3 PUBLICAÇÕES

O presente estudo se dividiu em três artigos científicos, o primeiro buscou apresentar a filosofia de uma possível correlação entre as variáveis pH e mV de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio, enquanto os outros foram acrescentados a presença de LED/laser e os substratos dentais manchados e não manchados para níveis mais aprofundados de avaliações das cinéticas químicas de pH, EP e temperatura.

3.1 Publicação 1*

Avaliação da variação temporal do potencial elétrico e pH de diferentes agentes clareadores

Resumo

Introdução: Os procedimentos de clareamento dentário estão sob investigação contínua para melhorar os resultados estéticos e reduzir a sensibilidade ao clareamento (BS) precipitada pelos tratamentos. Durante o processo de clareamento dental sabe-se que a liberação de radicais livres degrada as moléculas de pigmento orgânico do dente e com isso uma quantidade de energia é liberada. No entanto, estudos anteriores nunca investigaram a correlação temporal entre o pH e o potencial elétrico (EP) gerado neste tratamento.

Objetivos: Portanto, o objetivo do presente estudo foi investigar as variações temporais de pH e EP associadas a três diferentes géis clareadores comercialmente disponíveis e os níveis de correlação entre parâmetros de interesse para fornecer informações relevantes sobre a cinética das reações de oxi-redução em procedimentos de clareamento dental.

Métodos: O estudo foi dividido em 3 grupos (n = 9) em função da concentração de peróxido de hidrogênio (6%, 15% e 35%). A evolução temporal dos valores de pH e EP foi determinada usando um medidor de pH de alta precisão e previamente calibrado em momentos específicos (5, 10, 15 e 30 min).

Resultados: Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA one-way de medidas repetidas com pós-teste de Bonferroni ($\alpha = 0,05$). Os resultados do estudo mostraram diferença no fator concentração gel ($p < 0,0001$), tempo ($p < 0,0001$) e interação (gel/tempo) ($p = 0,002$) enquanto ao longo dos intervalos avaliados os grupos permaneceram relativamente estáveis e sem diferença significativa na variação intragrupo do pH ($p < 0,05$) e na EP apenas com diferença significativa no intervalo de 5 min da concentração de 35%. Um teste de relação polinomial de 2º grau mostrou altos níveis de correlação.

Conclusão: Pode-se então concluir que existe uma relação negativa entre EP e variação de pH nas diferentes concentrações de gel.

*Formatação de acordo com as normas do periódico *Heliyon*, para o qual foi submetido e publicado (Direitos autorais-Anexo A).

Significância clínica

Os achados do presente estudo sugerem que géis clareadores de maior concentração podem provocar sensibilidade mais intensas e duradouras devido à despolarização elétrica significativa das extensões neuronais dos tecidos pulpaes.

Palavras-chave: Peróxido de hidrogênio; Potencial elétrico; pH; Evolução temporal; Clareamento dental.

1. Introdução

Os procedimentos de clareamento dental (caseiro ou no consultório) são considerados técnicas ultraconservadoras e minimamente invasivas porque não requerem a remoção de tecidos hígidos, logo, podem ser utilizados com segurança em dentes vitais e são normalmente usados para resolver descolorações dentárias visualmente perceptíveis de origem extrínsecas e intrínsecas. No entanto, apesar de sua ampla utilização e aceitação entre pacientes e clínicos em todo o mundo, vários estudos relataram a ocorrência de efeitos adversos, incluindo alterações nas propriedades da superfície do esmalte e na sensibilidade ao clareamento (BS; trans ou pós-operatória). Essa sensibilidade trans ou pós-operatória é geralmente percebida pelos pacientes como "choques elétricos" pequenos e recorrentes e essa sensação foi posteriormente definida como "efeito Zinger"[1].

Embora algumas teorias tenham sido propostas para explicar a forte e positiva correlação entre os procedimentos de clareamento dental e a ocorrência de BS, a maioria dos estudos publicados anteriormente não estavam focados em elucidar os fatores, mecanismos ou vias neuronais envolvidas. A teoria hidrodinâmica, que é a mais aceita na literatura sobre sensibilidade em geral, descreve que estímulos externos (térmicos, elétricos, químicos, táteis ou evaporativos) são capazes de promover a movimentação de fluidos dentro dos túbulos dentinários. Tal movimento estimula mecanorreceptores neuronais (extensões odontoblásticas) que são sensíveis à pressão do fluido e são traduzidos como uma sensação dolorosa pelos tecidos pulpaes [2].

De acordo com estudos anteriores, a BS é um dos efeitos adversos mais comuns que precipitam nos procedimentos de clareamento dental. Sua intensidade (baixa, leve e grave) e duração (curto ou longo prazo) estão diretamente correlacionadas ao tempo de exposição e às concentrações de peróxido utilizadas [3,4]. Técnicas modernas são tipicamente conduzidas com baixas concentrações de peróxido de

hidrogênio (6% - 15%), incluem componentes dessensibilizantes em suas formulações e são mediadas por LEDs violetas para diminuir a incidência de BS, menores concentrações de radicais livres [4] e o potencial de citotoxicidade associado com o procedimento [5-7].

As técnicas de clareamento dental são baseadas na utilização de géis contendo peróxido (por exemplo, hidrogênio ou carbamida) que normalmente geram grandes quantidades de espécies reativas de oxigênio (EROs) [8-10]. Os radicais livres gerados penetram através do esmalte e atingem regiões profundas dos dentes (junção esmalte-dentina), onde degradam as duplas ligações conjugadas C=C presentes em moléculas orgânicas de cadeia longa (cromóforos), alterando assim o comportamento óptico dos cromóforos (absorção e espalhamento) [11-13]. No entanto, devido ao seu baixo peso molecular e mecanismos de ação inespecífico, as EROs podem ser encontradas em locais tão profundos quanto a câmara pulpar e em concentrações consideradas preocupantes do ponto de vista de biocompatibilidade e citotoxicidade [14].

De acordo com um artigo de revisão recente publicado por Gentil de Moor et al., [10] agentes oxidantes como oxigênio, hidroperoxila, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, ozônio e hidroxila, estão associados a diferentes potenciais redox (E° , em Volts ; +1,229 V, +1,510 V, + 1,630 V, + 1,780 V, + 2,075 V e + 2,800 V, respectivamente), em que quanto maior o potencial redox, mais eficaz será o agente oxidante na degradação das ligações C=C conjugadas [15]. Portanto, com base no contexto aqui apresentado, e no princípio da despolarização nervosa [16], é possível levantar a hipótese de que pacientes tratados com agentes clareadores de maior potencial elétrico (EP) apresentarão maiores incidências mais fortes de BS pela maior liberação dos radicais livres. Tendo isso em mente, o presente estudo teve como objetivo investigar as variações temporais de pH e EP associadas a três diferentes géis clareadores disponíveis comercialmente e os níveis de correlação entre os parâmetros de interesse para fornecer informações relevantes sobre os procedimentos de clareamento dental e correlacionar indiretamente nossos achados com seu potencial para induzir a ocorrência de BS. A justificativa para o desenho experimental proposto no presente estudo laboratorial in vitro, que não utiliza nenhum tipo de substrato dentário, justifica-se pelo fato de que nosso objetivo foi caracterizar a evolução temporal do pH e EP sem a presença de fatores externos de confusão, como composição molecular, níveis de mineralização, capacidade de tamponamento,

porosidade e impedância do tecido, que normalmente estão presentes quando são usados tecidos mineralizados de origem humana ou bovina. A hipótese nula testada foi que géis clareadores de diferentes concentrações de HP não apresentariam cinética diferente.

2. Materiais e métodos

2.1. Desenho de estudo

Três géis clareadores comercialmente disponíveis com diferentes concentrações de peróxido (6%, 15% e 35%) foram utilizados no presente estudo (Tabela 1) para demonstrar a evolução temporal do pH e EP e os níveis de correlação entre eles.

Tabela 1. Descrição dos géis clareadores disponíveis no mercado e suas respectivas composições

Grupo	Produto	Composição
G1	Nano White Flex 6% (DMC, São Paulo, Brasil)	Fase 1 – peróxido de hidrogênio a 6% (0,975 g); Fase 2 – agente espessante (0,325 g), nanopartículas de dióxido de titânio, corantes orgânicos e agentes quelantes
G2	Lase Peroxide Flex 15% (DMC, São Paulo, Brasil)	Fase 1 – peróxido de hidrogênio a 15% (10 g); Fase 2 – agente espessante (5 g), nanopartículas de dióxido de titânio, corantes orgânicos e agentes quelantes; Fase 3 - Diluidor (5 g)
G3	Lase Peroxide Flex 35% (DMC, São Paulo, Brasil)	Fase 1 – 35% de peróxido de hidrogênio (10 g); Fase 2 – agente espessante (5,0 g), nanopartículas de dióxido de titânio, corantes orgânicos e agentes quelantes

2.2. Preparação das amostras

Amostras ($n = 9$) de cada gel clareador investigado (contendo 6%, 15% ou 35% de H_2O_2) foram misturadas individualmente seguindo as instruções fornecidas pelo fabricante (disponível em www.dmcgroup.com.br). Em resumo, as amostras pertencentes aos grupos 1 e 3 foram preparadas dispensando individualmente gotas ($\sim 50 \mu L$ cada) das fases 1 e 2 (18 gotas da fase 1 e 6 gotas da fase 2; proporção de 3:1) em recipiente inerte. Imediatamente após dispensar as gotas necessárias de cada fase, o material foi então misturado manualmente com movimentos circulares até obter uma cor homogênea (~ 10 segundos/amostra). As amostras do grupo 2 (15% H_2O_2) foram preparadas de maneira semelhante às dos grupos 1 e 3, mas gotículas ($\sim 50 \mu L$ cada) das fases 1, 2 e 3 foram dispensadas em uma proporção de 1:1:1 (8 gotas de cada fase). Todas as amostras do presente estudo laboratorial in vitro foram preparadas por um operador treinado e calibrado para minimizar erros associados ao operador. As condições ambientais como temperatura e umidade relativa foram mantidas constantes durante todo o estudo.

2.3. Medições de pH e EP

Imediatamente após serem preparadas, amostras individuais de géis clareadores investigados (contendo 6%, 15% ou 35% de H_2O_2) foram submetidas a medições longitudinais e em tempo real de pH e EP usando um medidor de pH de alta resolução (Ph- 2600; Instrutherm, São Paulo, Brasil) e eletrodos de alta precisão (MI-401; Microelectrodes, NH, EUA) que foram previamente calibrados usando referências internas padronizadas de Ag-AgCl. A evolução temporal (0 min – 30 min) do pH e EP foram então registradas manualmente por um operador previamente calibrado e treinado para garantir a consistência dos pontos de dados adquiridos.

2.4. Análise estatística

Depois que os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram atendidos, os dados foram então submetidos a uma análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) à um fator e foram seguidas por comparações múltiplas com pós-teste de Bonferroni. Um teste de relação polinomial de 2º grau foi realizado posteriormente. As análises estatísticas resumidas no presente estudo foram realizadas à um nível de significância de 5% usando um software (SPSS Versão 22.0; IBM, Armonk, NY, EUA).

3. Resultados

Os resultados do presente estudo foram relatados pelos valores de média e desvio padrão de pH e EP e foram plotados como gráficos de linha (Figuras 1, 2 e 3) para ilustrar a evolução temporal dos parâmetros de interesse e facilitar a visualização da correlação entre eles (Figura 4).

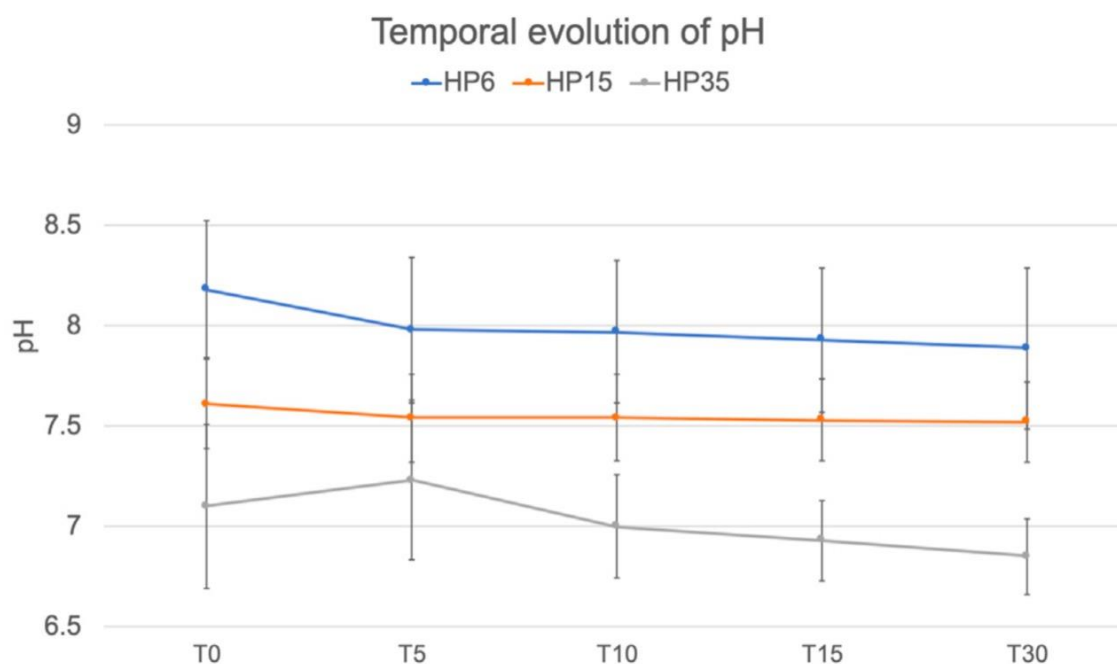


Figura 1. Dados completos com média e desvio padrão da evolução temporal do pH.

É possível observar pela Figura 1 que os géis clareadores investigados apresentaram valores de pH distintos em T0 que variaram de $7,70 \pm 0,412$ (HP35) a $8,18 \pm 0,342$ (HP6), em que géis clareadores de menor concentração de H_2O_2 (HP6 e HP15) apresentaram valores iniciais de pH superiores aos de HP35. Foram observadas diferenças estatisticamente significativas para a interação Tempo *HP ($F(2,71) = 6,69$; $p = 0,002$; $\eta^2p = 0,35$ e $\pi = 0,94$), e também para os principais fatores tempo de análise ($F(1,35) = 13,72$; $p < 0,0001$; $\eta^2p = 0,36$ e $\pi = 0,98$) e concentração de hidrogênio. Na Figura 1 pode-se observar que o efeito mais significativo com o maior efeito prático está condicionado a concentração peróxido ($F(2) = 25,36$; $p < 0,0001$; $\eta^2p = 0,68$ e $\pi = 1,00$). O efeito estatístico observado para a variável tempo de medida repetida é claramente dependente do gel utilizado, uma vez que não há diferenças estatísticas intragrupo.

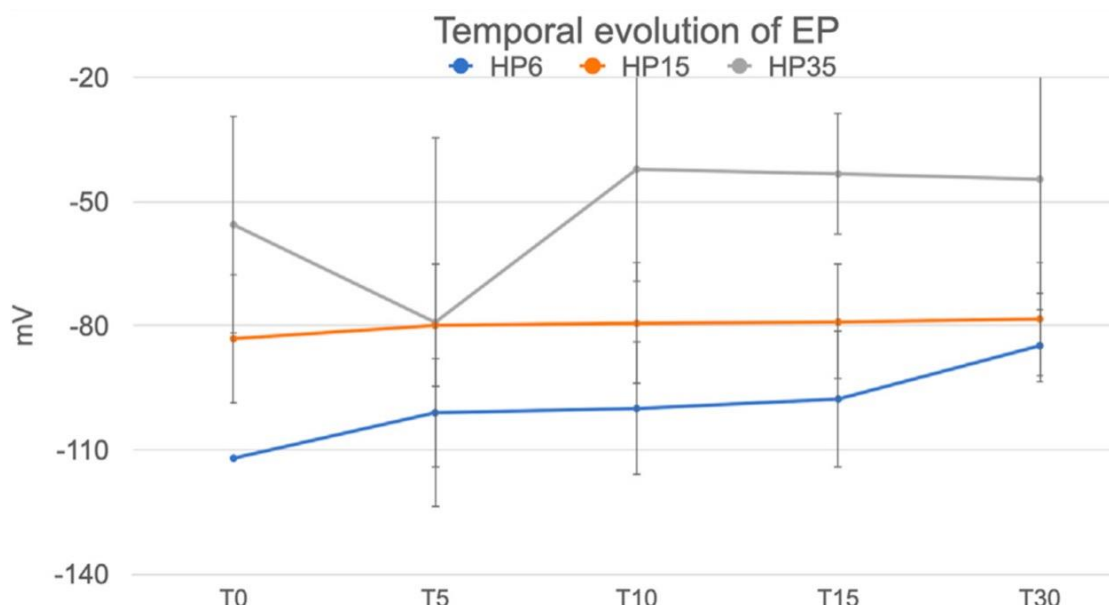


Figura 2. Dados completos com média e desvio padrão da evolução temporal do EP.

A Figura 2 ilustra que os géis clareadores investigados também exibiram potenciais elétricos que eram diferentes em T0 e variavam de $-112 \pm 11,5$ concentrações (HP6) a $-55,6 \pm 26,4$ mV (HP35), em que os géis de menores concentrações são mais negativos. A análise da evolução temporal do pH indicou que os géis clareadores investigados mantiveram seus valores iniciais de pH (HP15) ou tornaram-se ligeiramente mais ácidos (HP6 e HP35). Em relação à evolução temporal da EP, é possível observar que os géis clareadores investigados apresentaram comportamento semelhante em que ou mantiveram seu potencial elétrico inicial (HP15) ou tornaram-se menos negativos (HP6 e HP35). Diferenças estatisticamente significativas foram observadas para os valores de EP para a interação Tempo * HP ($F(6) = 4,95$; $p < 0,0001$; $\eta^2p = 0,29$ e $\pi = 0,99$), para a variável principal HP ($F(2) = 14,46$; $p < 0,0001$; $\eta^2p = 0,55$ e $\pi = 1$) e para a medida repetida tempo ($F(3) = 8,049$; $p < 0,0001$; $\eta^2p = 0,25$ e $\pi = 0,99$). Os resultados podem ser vistos na Figura 2.

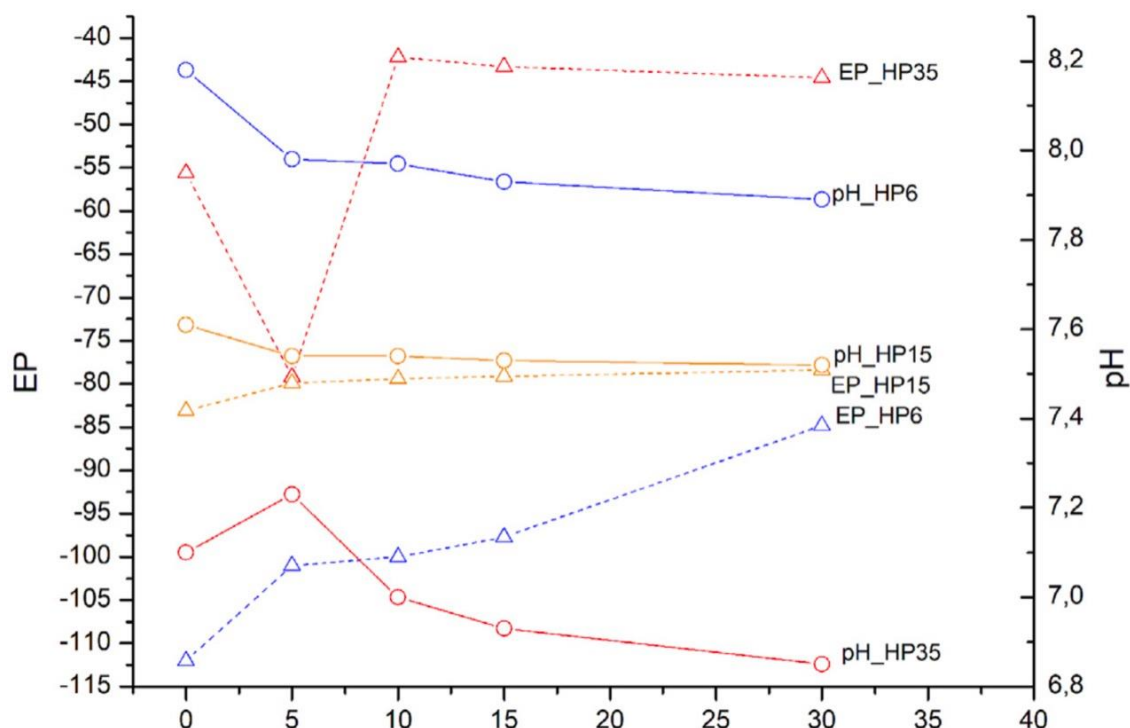


Figura 3. Correlação Temporal Média pH-EP (HP6) (HP15) (HP35).

Figura 3 - ilustra que os parâmetros de interesse, pH e EP, são inversamente correlacionados em todos os géis clareadores investigados (HP6, HP15 ou HP35). Em combinação, esses resultados indicam que, após serem misturados, os géis clareadores disponíveis comercialmente tendem à apresentar uma diminuição em seu potencial redox ao longo do tempo (dentro de 30 min). Esses achados eram esperados porque H_2O_2 se dissocia espontaneamente em EROs quando em contato com corantes orgânicos presentes em suas composições (Fase 2; ver Tabela 1 para composições).

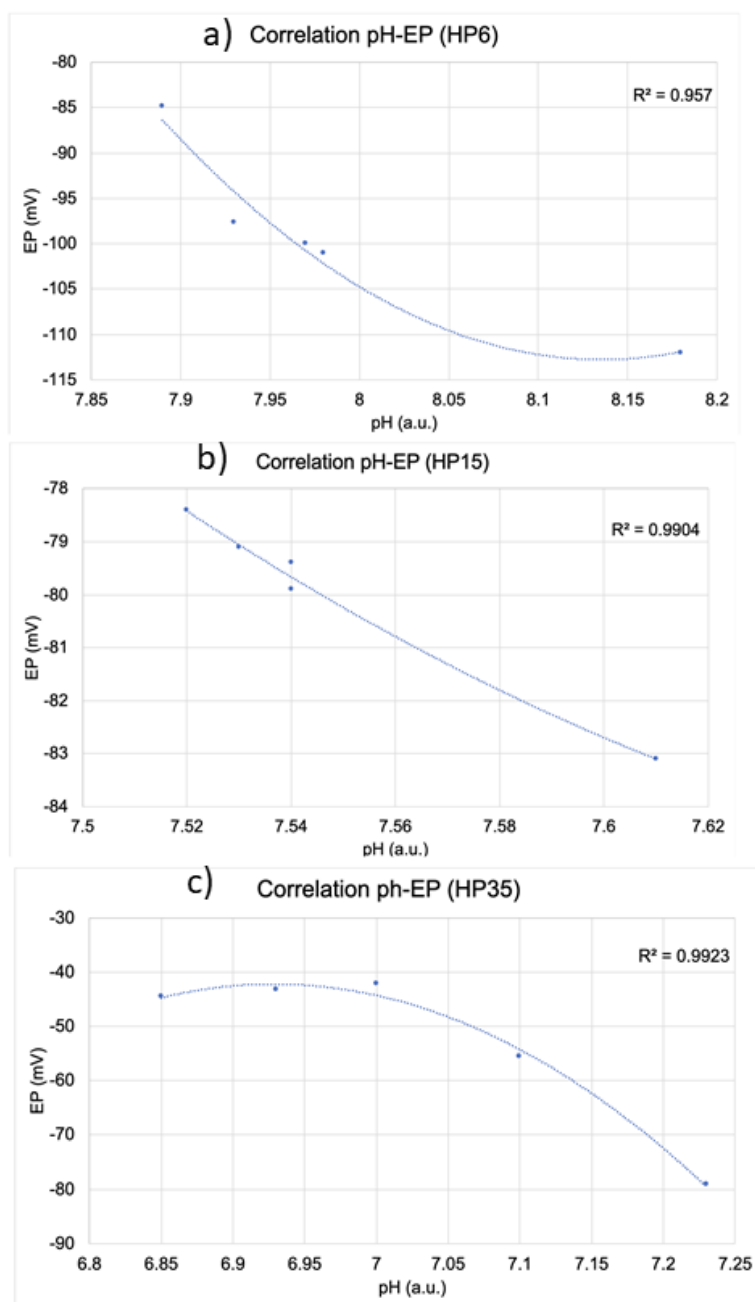


Figura 4. Apresentação dos gráficos de correlação entre pH-EP de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio a) (HP6); b) (HP15); e c) (HP35).

Figura 4 - demonstrou que os valores médios de pH e EP variaram em uma relação polinomial de 2º grau onde altos níveis de correlação (R^2 ; HP35 = 0,9923, HP15 = 0,9904 e HP6 = 0,957) foram observados para todos os géis clareadores investigados, permitindo assim que os géis clareadores sejam ordenados em níveis decrescentes de correlação (HP35 > HP15 > HP6, respectivamente).

4. Discussão

O objetivo do presente estudo in vitro foi investigar variações de pH e EP de três géis clareadores disponíveis comercialmente, determinar os níveis de correlação entre os parâmetros de interesse e indiretamente levantar a hipótese da capacidade dos géis clareadores de induzir a ocorrência de BS. A hipótese nula testada foi que géis clareadores de diferentes concentrações de HP não apresentariam cinética diferente. Os resultados relatados no presente estudo mostraram que os géis clareadores contendo 15% ou 35% de peróxido de hidrogênio apresentaram valores de pH ligeiramente inferiores (7,61 e 7,10, respectivamente) quando comparados aos géis contendo 6% (8,18). Os valores de pH relatados também se mantiveram ou diminuíram ligeiramente ao longo de 30 min (tempo de observação). Portanto, a hipótese nula foi rejeitada.

Esses resultados são críticos do ponto de vista da eficácia porque numerosos estudos relataram que os géis alcalinos normalmente geram grandes quantidades de EROS de vida longa quando comparados aos géis ácidos, o que poderia justificar por que os géis clareadores alcalinos tendem a produzir resultados estéticos mais intensos e duradouros. Do ponto de vista da biocompatibilidade, é de fundamental importância entender como a evolução do pH pode influenciar na penetração de EROs, na quebra de pigmentos e impactar negativamente nos aspectos mecânicos (diminuição de resistência e dureza), biológicos (viabilidade da polpa) [14, 16, 17] e propriedades químicas dos tecidos tratados (duro e mole). Os valores de pH relatados no presente estudo foram corroborados por estudos anteriores que investigaram a correlação entre diferentes condicionadores de pH e a estabilidade química dos géis clareadores (tempo de prateleira). De acordo com os resultados relatados [18, 19], as grandes quantidades de H^+ observadas em géis clareadores altamente concentrados ajudam a manter a estabilidade química longitudinal dos materiais investigados durante o armazenamento sem condicionar as superfícies externas do esmalte [20, 21, 22]. Esses resultados são fundamentalmente importantes para clínicos e pacientes em todo o mundo, porque a maioria das técnicas aceleradas por luz em consultório são tipicamente conduzidas com géis clareadores contendo 35% de H_2O_2 [4,23]. Além disso, outros estudos demonstraram que os géis clareadores ácidos tornam-se alcalinos imediatamente após serem manipulados, promovendo assim a

dissociação eficiente de H_2O_2 em EROS e prevenindo ainda mais o condicionamento ácido do esmalte [18, 24, 26].

Embora estudos anteriores [20, 24, 25, 26] tenham investigado a evolução dos valores de pH durante os procedimentos de clareamento dental, o presente estudo representa um esforço para correlacionar temporalmente o pH com EP, e fornecer informações relevantes para o desenvolvimento de produtos e técnicas capazes de resolver descolorações dentárias de forma eficiente sem causar efeitos adversos sobre a viabilidade e função dos tecidos tratados. A justificativa para o desenho experimental proposto no presente estudo baseou-se na necessidade de remover fatores de confusão externos não gerenciáveis, como composição molecular, níveis de mineralização, capacidade de tamponamento, porosidade e impedância do tecido que normalmente estão presentes quando tecidos mineralizados de humanos ou origem bovina são usados.

Os resultados relatados na Figura 4, demonstraram claramente a presença de uma correlação negativa e forte (HP6 [$R^2 = 0,957$], HP15 [$R^2 = 0,9904$] e HP35 [$R^2 = 0,9923$]) entre a variação temporal de pH e EP, em que os parâmetros de interesse foram observados variando inversamente entre si (por exemplo, quanto maior o pH, menor o EP), conforme mostrado na Figura 3. De acordo com estudos que investigaram a química dos procedimentos de clareamento dental ativados por luz [10,27,28] esse comportamento pode ser explicado pelo processo pelo qual os radicais livres são gerados durante os procedimentos de clareamento e essa liberação de espécies iônicas contribuem para uma maior aumentar o potencial elétrico dos géis clareadores investigados.

Como mencionado anteriormente no presente estudo, e como extensivamente portado na literatura, a BS é um dos principais efeitos adversos precipitados da execução de procedimentos de clareamento dental caseiro ou de consultório. Embora teorias tenham sido propostas (transdução e hidrodinâmica) para explicar os mecanismos pelos quais os procedimentos de clareamento dental causam BS (trans ou pós-operatório), sua etiologia ainda não foi totalmente elucidada [29].

De acordo com uma recente revisão sistemática e metanálise da literatura focada em procedimentos de clareamento dental em consultório mediados por géis clareadores de diferentes concentrações de H_2O_2 (baixa, média ou alta concentração) [24], níveis mais elevados de BS foram observados em pacientes tratados com géis clareadores de maior concentração. Esses achados podem ser usados para apoiar

parcialmente a hipótese central do presente estudo de que uma maior variação nos valores de EP (conforme demonstrado na Figura 3) poderia levar a maiores incidências de BS. Os resultados do presente estudo quanto à variação temporal dos valores de pH contradizem os achados de estudos anteriores que demonstraram que diferenças significativas de pH foram observadas ao longo do tempo quando irradiado com luz visível e quando na presença de tecidos mineralizados [20, 23]. Os resultados do presente estudo podem ser justificados pelo fato de que o desenho experimental proposto não utilizou luz visível ou qualquer tipo de tecido mineralizado para evitar a presença de fatores de confusão incontrolláveis. Além disso, a composição dos agentes clareadores investigados no presente estudo é ligeiramente diferente daquelas relatadas anteriormente e contém a presença de nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio. É bem conhecido da literatura que H_2O_2 se dissocia espontaneamente na presença de óxidos metálicos para favorecer a geração de EROs [6, 30]. Outros estudos [10, 13, 14] indicaram que a quebra de ligações C=C conjugadas, seja por oxidação ou redução, pode liberar energia no ambiente molecular onde os cromóforos e as moléculas de EROs estão localizadas e podem contribuir ainda mais para aumentar a variação nos valores de EP e pH.

Os resultados relatados no presente estudo demonstraram claramente a presença de uma correlação forte e negativa entre os valores de pH e EP, em que os valores de EP variaram inversamente com a evolução do pH. Notou-se também que o HP15 apresentou a menor variação nos valores de pH e EP de todos os géis clareadores investigados independentemente do tempo considerado (T0 – T30). Do ponto de vista da eficácia clínica, esses resultados são críticos, pois o maior potencial redox geralmente está correlacionado com resultados estéticos imediatos mais intensos e duradouros, como observado no HP35. Apesar desses resultados, espera-se que pacientes tratados com géis clareadores altamente concentrados apresentem BS (trans ou pós-operatório) mais intensa e duradoura devido à capacidade desse material de gerar um grande fluxo de deslocamento iônico capaz de promover forte despolarização dos tecidos pulpaes [32].

O presente estudo representa um esforço para fornecer informações relevantes sobre como as variações de pH e EP podem influenciar na obtenção de resultados estéticos imediatos e na ocorrência de BS. Prevê-se que o resultado do presente trabalho terá um impacto positivo em pesquisas subsequentes (in vitro, in situ ou ensaios clínicos) e no desenvolvimento de novos materiais de clareamento dental. O

presente estudo oferece ao campo uma nova teoria de que fortes variações nos valores de EP, como observadas em HP35, são capazes de despolarizar significativamente extensões neuronais dos tecidos pulpaes e causar sensações conhecidas como efeito Zinger. Estudos subsequentes devem investigar os efeitos da luz visível e dos tecidos mineralizados na evolução do pH e EP para confirmar os achados relatados no presente estudo e para fundamentar o desenvolvimento de novos agentes clareadores dentários e a execução de ensaios clínicos robustos.

5. Conclusão

O presente estudo *in vitro* caracterizou com sucesso a evolução dos valores de pH e EP e suas correlações temporais sem a presença de fatores de confusão externos incontroláveis. Os resultados relatados demonstraram claramente o estabelecimento de correlações fortes e negativas para todos os géis clareadores investigados. Além disso, a maior variação de pH e EP presente no gel de maior concentração pode estar ligada à presença de BS, relatada na literatura, baseada no princípio da despolarização elétrica das extensões neuronais dos tecidos pulpaes.

7. Referências

1. K. Markowitz, Pretty painful: Why does tooth bleaching hurt?, *Med. Hypotheses*. 74 (2010) 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2009.11.044>.
- [2] M. Brännström, The hydrodynamic theory of dentinal pain: Sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome, *J. Endod.* 12 (1986) 453–457. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(86\)80198-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(86)80198-4).
- [3] H. Moosavi, N. Arjmand, F. Ahrari, M. Zakeri, F. Maleknejad, Effect of low-level laser therapy on tooth sensitivity induced by in-office bleaching, *Lasers Med. Sci.* 31 (2016) 713–719. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1913-z>.
- [4] B.M. Maran, T. de P. Matos, A. dos S. de Castro, L. Vochikovski, A.L. Amadori, A.D. Loguercio, A. Reis, S.B. Berger, In-office bleaching with low/medium vs. high concentrate hydrogen peroxide: a systematic review and meta-analysis, *J. Dent.* 103 (2020) 103499. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103499>.
- [5] J.F. Bortolatto, H. Pretel, M.C. Floros, A.C.C. Luizzi, A.A.R. Dantas, E. Fernandez, G. Moncada, O.B. de Oliveira, Low Concentration H₂O₂/TiO₂ in Office Bleaching: A Randomized Clinical Trial, *J. Dent. Res.* 93 (2014) 66S–71S. <https://doi.org/10.1177/0022034514537466>.
- [6] J.F. Bortolatto, T.C. Trevisan, P.S.I. Bernardi, E. Fernandez, L.N. Dovigo, A.D. Loguercio, O. Batista de Oliveira Junior, H. Pretel, A novel approach for in-office tooth bleaching with 6 % H₂O₂/TiO₂ and LED/laser system—a controlled, triple-blinded, randomized clinical trial, *Lasers Med. Sci.* 31 (2016) 437–444. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1866-2>.

- [7] J. Martín, P. Vildósola, C. Bersezio, A. Herrera, J. Bortolatto, J.R.C. Saad, O.B. Oliveira, E. Fernández, Effectiveness of 6% hydrogen peroxide concentration for tooth bleaching - A double-blind, randomized clinical trial, *J. Dent.* 43 (2015) 965–972. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.011>.
- [8] S.R. Kwon, P.W. Wertz, Review of the mechanism of tooth whitening, *J. Esthet. Restor. Dent.* 27 (2015) 240–257. <https://doi.org/10.1111/jerd.12152>.
- [9] C.J. Tredwin, S. Naik, N.J. Lewis, C. Scully Cbe, Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues, *Br. Dent. J.* 200 (2006) 371–376. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4813423>.
- [10] R. Jozef, G. De Moor, J. Verheyen, A. Diachuk, P. Verheyen, M.A. Meire, P.J. De Coster, F. Keulemans, M. De Bruyne, L.J. Walsh, Insight in the Chemistry of Laser-Activated Dental Bleaching, *Sci. World J.* 2015 (2015) 1–5.
- [11] M. A.M. Sulieman, An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy, *Periodontol.* 2000. 48 (2008) 148–169. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2008.00258.x>.
- [12] A.L.M. Ubaldini, M.L. Baesso, A. Medina Neto, F. Sato, A.C. Bento, R.C. Pascotto, Hydrogen peroxide diffusion dynamics in dental tissues, *J. Dent. Res.* 92 (2013) 661–665. <https://doi.org/10.1177/0022034513488893>.
- [13] S. Kossatz, G. Martins, A.D. Loguercio, A. Reis, Tooth sensitivity and bleaching effectiveness associated with use of a calcium-containing in-office bleaching gel., *J. Am. Dent. Assoc.* 143 (2012) e81-7. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0075>.
- [14] O. Gökyay, F. Yilmaz, S. Akin, M. Tunçbilek, R. Ertan, Penetration of the pulp chamber by bleaching agents in teeth restored with various restorative materials, *J. Endod.* 26 (2000) 92–94. <https://doi.org/10.1097/00004770-200002000-00008>.
- [15] J.R. Clay, Axonal excitability revisited, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 88 (2005) 59–90. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2003.12.004>.
- [16] A.P. Mena-Serrano, S.O. Parreiras, E.M.S. do Nascimento, C.P.F. Borges, S.B. Berger, A.D. Loguercio, A. Reis, Effects of the concentration and composition of in-office bleaching gels on hydrogen peroxide penetration into the pulp chamber, *Oper. Dent.* 40 (2015) E76–E82. <https://doi.org/10.2341/13-352-L>.
- [17] L. Balladares, L. Alegría-Acevedo, A. Montenegro-Arana, L. Arana-Gordillo, C. Pulido, M. Salazar-Gracez, A. Reis, A. Loguercio, Effects of pH and Application Technique of In-office Bleaching Gels on Hydrogen Peroxide Penetration into the Pulp Chamber, *Oper. Dent.* 44 (2019) 659–667. <https://doi.org/10.2341/18-148-L>.
- [18] B. Xu, Q. Li, Y. Wang, Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties, *Oper. Dent.* 36 (2011) 554–562. <https://doi.org/10.2341/11-045-1>.
- [19] C.R.G. Torres, E. Crastechini, F.A. Feitosa, C.R. Pucci, A.B. Borges, Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening, *Oper. Dent.* 39 (2014) E261–E268. <https://doi.org/10.2341/13-214-L>.

- [20] A.F. Soares, J.F.S. Bombonatti, M.S. Alencar, E.C. Consolmagno, H.M. Honório, R.F.L. Mondelli, Influence of pH, bleaching agents, and acid etching on surface wear of bovine enamel, *J. Appl. Oral Sci.* 24 (2016) 24–30. <https://doi.org/10.1590/1678-775720150281>.
- [21] H. Frysh, W.H. Bowles, F. Baker, F. Rivera-Hidalgo, G. Guillen, Effect of pH on Hydrogen Peroxide Bleaching Agents, *J. Esthet. Restor. Dent.* 7 (1995) 130–133. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1995.tb00730.x>.
- [22] A. Freire, L.R.P. Archegas, E.M. de Souza, S. Vieira, Effect of storage temperature on pH of in-office and at-home dental bleaching agents., *Acta Odontol. Latinoam.* 22 (2009) 27–31.
- [23] G. Grazioli, L.L. Valente, C.P. Isolan, H.A. Pinheiro, C.G. Duarte, E.A. Münchow, Bleaching and enamel surface interactions resulting from the use of highly-concentrated bleaching gels, *Arch. Oral Biol.* 87 (2018) 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.12.026>.
- [24] Y. Ito, M. Otsuki, J. Tagami, Effect of pH conditioners on tooth bleaching, *Clin. Exp. Dent. Res.* 5 (2019) 212–218. <https://doi.org/10.1002/cre2.172>.
- [25] C. Bersezio, J. Martín, M. V. Prieto, P. Meneses, P. Angel, G. Eduardo Fernández, A. Loguercio, One-year bleaching efficacy using two HP products with different pH: A double-blind randomized clinical trial, *J. Esthet. Restor. Dent.* 31 (2019) 493–499. <https://doi.org/10.1111/jerd.12505>.
- [26] A.C. Trentino, A.F. Soares, M.A.H. Duarte, S.K. Ishikiriyama, R.F.L. Mondelli, Evaluation of pH levels and surface roughness after bleaching and abrasion tests of eight commercial products, *Photomed. Laser Surg.* 33 (2015) 372–377. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3869>.
- [27] M. Younes, *Free Radicals and Reactive Oxygen Species*, Elsevier Inc., 1999. <https://doi.org/10.1016/b978-012473270-4/50064-x>.
- [28] C.C. Winterbourn, *The biological chemistry of hydrogen peroxide*, 1st ed., Elsevier Inc., 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405881-1.00001-X>.
- [29] V.B. Haywood, Treating sensitivity during tooth whitening, *Compend. Contin. Educ. Dent.* 26 (2005) 11–20.
- [30] R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, Y. Taga, Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides, *Science* (80-.). 293 (2001) 269–271. <https://doi.org/10.1126/science.1061051>.
- [31] J.E. Dahl, U. Pallesen, Tooth bleaching - A critical review of the biological aspects, *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 14 (2003) 292–304. <https://doi.org/10.1177/154411130301400406>.
- [32] S. Marchand, The Physiology of Pain Mechanisms: From the Periphery to the Brain, 34 (2008) 285–309. <https://doi.org/10.1016/j.rdc.2008.04.003>.

3.2 Publicação 2*

A influência da concentração de peróxido de hidrogênio na cinética química do clareamento dental fotoacelerado

Resumo

Background: O procedimento de clareamento consiste em princípios químicos de liberação de radicais livres que reagem com os cromóforos, o que resulta em uma quantidade de energia liberada neste processo. No entanto, a avaliação do potencial elétrico gerado nesses protocolos ainda não foi amplamente investigada na literatura. Assim, este estudo teve como objetivo examinar as variações de pH, mV e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio na presença ou ausência de um sistema de fotoaceleração LED/LASER.

Métodos: O estudo foi dividido em seis grupos ($n = 9$) de acordo com a concentração de peróxido de hidrogênio (6%, 15% e 35%), associado ou não ao sistema de fotoaceleração LED/LASER. Acompanhamos a variação de pH, mV e temperatura em 1, 5, 10, 15 e 30 min após a manipulação do gel. Os dados foram avaliados por ANOVA de duas vias de medidas repetidas ($\alpha = 0,05$).

Resultados: pH, mV e temperatura dos grupos apresentaram diferenças estatísticas tanto na luz e no clareador quanto na interação entre os dois fatores ($p < 0,0001$), onde pH e mV foram mais influenciados pelo fator clareador e luz, enquanto a temperatura foi influenciada pelo fator clareador associado à luz. HP15 apresentou a mudança mais significativa em pH, mV e temperatura.

Conclusão: o uso de LED/laser aumentou a temperatura dos géis e alterou a cinética de pH e mV de HP6 e HP15, o que não ocorreu em HP35, possivelmente devido ao alto potencial iônico ligado à concentração.

* Formatação de acordo com as normas do periódico *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, no qual foi aceito e publicado (Direitos autorais-Anexo A).

Palavras-chave: Clareamento dental; Peróxido de hidrogênio; pH; LED Violeta; Temperatura; Potencial Elétrico.

1. Introdução

A exigência estética de uma melhor aparência do sorriso na sociedade contemporânea tem levado a busca por materiais e técnicas que contribuam para resultados estéticos satisfatórios. Dentre os procedimentos, o clareamento dental surge como um tratamento conservador de grande demanda e aceito tanto por pacientes quanto por clínicos por proporcionar uma aparência de sorriso mais harmoniosa, sem alterações significativas na estrutura dental e com baixo custo[1,2].

O princípio do clareamento dental é baseado na dissociação dos radicais livres dos géis clareadores derivados do peróxido de hidrogênio (HP) que permeiam a estrutura do dente e oxidam ou reduzem as moléculas cromóforas das duplas ligações C=C que causam a pigmentação do dente. A degradação dessas ligações promove a saturação dos cromóforos resultando maior reflexão de comprimentos de onda mais próximos do azul e verde resultando em aspectos mais claros dos dentes clareados [1,2].

No entanto, o alto poder de difusão do HP e a não seletividade de seus radicais livres apenas pelos cromóforos podem gerar preocupações de biocompatibilidade e citotoxicidade [3], mudanças na superfície dental [4,5], reações na polpa e causar sensibilidade pós clareamento (BS) [6,7], o efeito adverso mais comum do clareamento dental que está diretamente relacionado à concentração do gel clareador e seu tempo de exposição aos tecidos dentários[8–10]. Além disso, podemos citar fatores relacionados ao pH e composição química do gel clareador como influenciadores de efeitos adversos [11]. Esse tipo de sensibilidade geralmente é relatado por sintomas de "choque elétrico" e foi descrito na literatura como o "efeito Zinger"[8,12].

Os géis clareadores de alta concentração de HP ainda são considerados “padrão ouro” porque mudam rapidamente de cor nas primeiras sessões [10]. No entanto, sabendo que a difusão do HP é proporcional à concentração do gel clareador, novos produtos de baixa concentração foram testados e apresentaram bons resultados estéticos com menor desconforto para o paciente [13–15].

Junto a isso, os géis de baixa concentração têm sido frequentemente visto em uma associação com LEDs e lasers que promovem interação com o gel de forma fototérmica ou fotoquímica para acelerar a produção e vibração de radicais livres para interagirem com as moléculas cromóforas do pigmento, melhorando assim o resultado do clareamento [13–15].

Devido ao aumento exarcebado de radicais livres gerados a partir da fotoaceleração, avaliar o pH e a cinética de temperatura são fundamentais para verificar os limites toleráveis para não causar alteração pulpar, resultando em possível BS [4,11,16-22]. Outro detalhe essencial a ser mencionado é que os radicais livres, como oxigênio, hidroperoxila, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, ozônio e hidroxila, possuem diferentes potenciais redox (E° , em Volts; +1.229 V, +1.510 V, + 1.630 V, + 1.780 V, + 2.075 V, and + 2.800 V, respectivamente), em que quanto maior o potencial redox, mais reativo é o radical [23]. A liberação de radicais livres promove variação do potencial elétrico durante o procedimento de clareamento dental, como observado por Pretel et al. [24] e levanta-se a hipótese que possa desencadear alterações no processo de despolarização nervosa e sensibilidade no clareamento dental [24,25]. Portanto, procedimentos com maior potencial elétrico apresentarão resultados estéticos mais eficazes e maiores incidências de BS.

Com base na correlação entre pH e mV descrita anteriormente por Pretel et al. [24], o objetivo deste estudo foi avaliar a cinética do pH, mV e a temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio em protocolos de laser infravermelho e LED Violeta, sem a presença de substrato dentário, e em um tempo padronizado. A hipótese nula é que as diferentes concentrações de HP e protocolos com ou sem fotoaceleração LED violeta/laser infravermelho não apresentam diferenças na cinética de pH, mV e temperatura ao longo do procedimento.

2. Materiais e Métodos

2.1. Preparação dos espécimes

Este estudo experimental de laboratório in vitro foi dividido em seis grupos com nove espécimes ($n=9$). Os géis clareadores (Tabela 1) foram misturados de acordo com o fabricante (disponível em www.dmcgroup.com.br) dentro de um recipiente de vidro inerte. Durante o preparo, a padronização do volume das amostras foi determinada com 24 gotas (~ 50 μ L cada), ficando na proporção de 3:1 entre peróxido

e espessante (fases 1 e 2) para os géis de concentração de 35% e 6% HP (18 gotas de peróxido e seis gotas de espessante), enquanto o gel 15% ficou na proporção 1:1:1 (fases 1, 2 e 3) entre peróxido, espessante e diluente (8 gotas de peróxido, oito gotas de espessante e oito gotas de diluente). Após dispensadas, as gotas foram manipuladas por uma espátula plástica com movimentos circulares por 10 segundos até a homogeneização da cor estar descrita na Tabela 1. Os grupos destinados a receber fotoaceleração por LED/LASER tiveram o protocolo intermitente com 1 min de luz com 1 min de repouso por LED violeta (405 nm $\pm$ 15 nm; 2400 mW) e sistema de laser infravermelho (810 nm; 300 mW) (Whitening light plus, DMC, São Carlos, SP, Brasil) durante o procedimento de 30 minutos. Todo o trabalho foi realizado por um único operador previamente treinado e calibrado para minimizar ao máximo a possibilidade de erro do operador. Ao mesmo tempo, as condições ambientais, como temperatura e umidade relativa, foram mantidas constantes durante todo o estudo.

Tabela 1 - Grupos, agentes clareadores, composição e cor dos protocolos utilizados neste estudo. NL (sem luz), L (luz).

Groups	Product name	Composition	Color
1) HP35 NL	Lase Peroxide Flex	Mixture of Phases 1 and 2 (35 % hydrogen peroxide): hydrogen peroxide, thickening, nano-	Orange
2) HP35 L	35% (DMC, São Carlos, SP, Brazil)	particled catalyser (titanium dioxide), neutralizing, annatto and juá dye, chelator agent and purified	
3) HP15 NL	Lase Peroxide Flex	Mixture of Phases 1, 2 and 3 (15% hydrogen peroxide): hydrogen peroxide, thickening, nano-	Red
4) HP15L	15% (DMC, São Carlos, SP, Brazil)	particled catalyser (titanium dioxide), neutralizing, annatto and juá dye, chelator agent and purified	
5) HP6 NL	Nano White Flex 6%	Mixture of Phases 1 and 2 (6% hydrogen peroxide): hydrogen peroxide, thickening, nano-particled	Yellow
6) HP6 L	(DMC, São Carlos, SP, Brazil)	catalyser (titanium dioxide), neutralizing annatto dye, chelator agent and purified water	

2.2. Avaliação de pH, mV e temperatura

Cada amostra teve sua variação de pH, mV e temperatura padronizada e analisada nos seguintes intervalos de tempo T1 a T5: 1, 5, 10, 15 e 30 min. A

temperatura ambiente foi padronizada em 22° C para a análise. O aparelho utilizado para obter os valores de pH, mV e temperatura foi um medidor de pHmetro digital de bancada Ph-2600 (Instrutherm, São Paulo, Brasil) previamente calibrado com eletrodos de superfície (MI-401 Microreference electrode, MICROELECTRODES.INC, Belford, New Jersey, USA).

2.3. Análise estatística

Após os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, analisamos os dados para uma Análise de Variância (ANOVA) de duas vias de medidas repetidas realizada à um nível de significância de 5%.

3. Resultados

3.1. Avaliação de pH

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação de pH são apresentados na Tabela 2. A maioria das comparações de medidas repetidas apresentou diferença estatística. Entre os géis de mesma concentração com ou sem fotoaceleração, apenas o HP15 apresentou diferença com e sem a fonte de luz ($p < 0,00001$).

Tabela 2 - Teste ANOVA de medidas repetidas referentes à variação do pH. (MD - Diferença média; SE - Erro padrão; NL - Sem luz)

Bleach	Light		Bleach	Light	MD	SE	Pbonferroni
HP15	NL	X	HP15	Violet	-0.96	0.17	< .00001
		X	HP35	NL	0.53	0.17	0.03865
		X	HP35	Violet	0.43	0.17	0.18449
		X	HP6	NL	-0.44	0.17	0.16016
		X	HP6	Violet	-0.94	0.17	0.00001
	Violet	X	HP35	NL	1.49	0.17	< .00001
		X	HP35	Violet	1.39	0.17	< .00001
		X	HP6	NL	0.53	0.17	0.03851
		X	HP6	Violet	0.02	0.17	1.00000
		X	HP6	Violet	-1.37	0.17	< .00001
HP35	NL	X	HP35	Violet	-0.10	0.17	1.00000
		X	HP6	NL	-0.96	0.17	< .00001
		X	HP6	Violet	-1.47	0.17	< .00001
	Violet	X	HP6	NL	-0.87	0.17	0.00005
		X	HP6	Violet	-1.37	0.17	< .00001
HP6	NL	X	HP6	Violet	-0.50	0.17	0.05793

A Figura 1 mostra a influência da presença e ausência de LED/LASER no pH dos géis clareadores. Verificamos que a fotoaceleração com LED/LASER alterou o pH de HP6 e HP15, enquanto não houve alteração em HP35. Observamos que na avaliação, sem o uso de LED/LASER, o gel HP35 apresentou cinética de pH mais heterogênea em relação a HP6 e HP15. No entanto, com a fotoaceleração LED/LASER, foi o HP15 que teve a mudança mais significativa na cinética do pH em relação aos outros géis. Ainda assim, os outros géis também modificaram a cinética de seus protocolos sem luz.

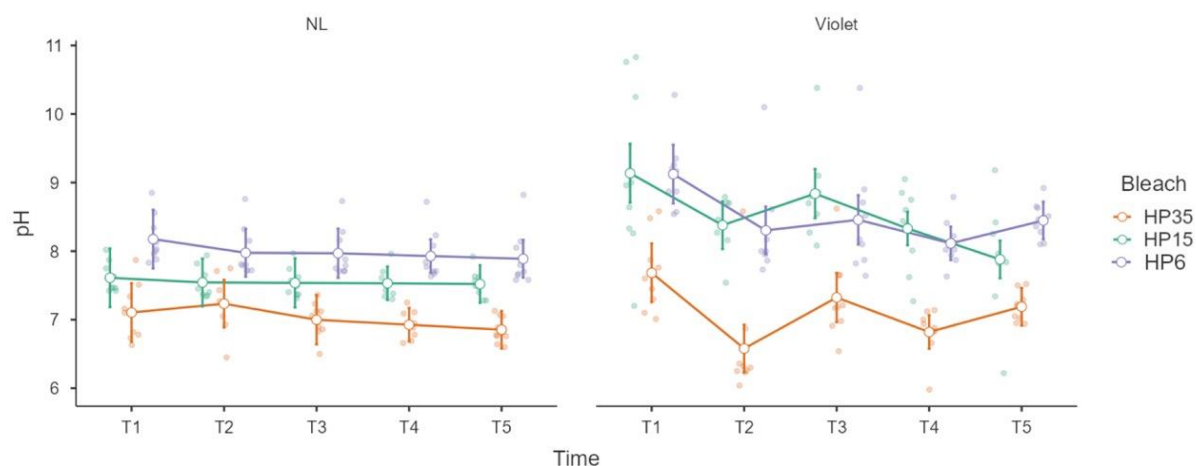


Figura 1 - Cinética química dos géis clareadores com presença e ausência de LED/LASER na variação do pH.

3.2. Avaliação de mV

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação da EDP estão apresentados na Tabela 3. A única concentração com ou sem fotoaceleração que não apresentou diferença foi o gel 35%.

Tabela 3 - Teste ANOVA de medidas repetidas referentes à variação de mV (MD - Diferença média; SE - Erro padrão; NL - Sem luz).

Bleach	Light		Bleach	Light	MD	SE	pbonferroni
HP35	NL	X	HP15	NL	30.22	7.43	0.00263
		X	HP6	NL	49.33	7.43	< .00001
		X	HP35	Violet	-12.91	7.43	1.00000
		X	HP15	Violet	77.22	7.43	< .00001
		X	HP6	Violet	89.96	7.43	< .00001
HP15		X	HP6	NL	19.11	7.43	0.19845
		X	HP35	Violet	-43.13	7.43	< .00001
		X	HP15	Violet	47.00	7.43	< .00001
		X	HP6	Violet	59.73	7.43	< .00001
HP6		X	HP35	Violet	-62.24	7.43	< .00001
		X	HP15	Violet	27.89	7.43	0.00703
		X	HP6	Violet	40.62	7.43	0.00002
HP35	Violet	X	HP15	Violet	90.13	7.43	< .00001
		X	HP6	Violet	102.87	7.43	< .00001
HP15		X	HP6	Violet	12.73	7.43	1.00000

A Figura 2 mostra a influência da presença e ausência de LED/LASER na EDP dos géis clareadores. Semelhante ao pH, os géis HP6 e HP15 variaram significativamente no uso de LED/LASER, enquanto o HP35 não. Observamos que na avaliação sem uso de LED/LASER, o gel HP35 apresentou cinética de pH mais heterogênea que HP6 e HP15. HP15 novamente mostrou a variação mais significativa na cinética de mV para os outros géis. Ainda assim, os outros géis também modificaram a cinética de seus protocolos sem luz.

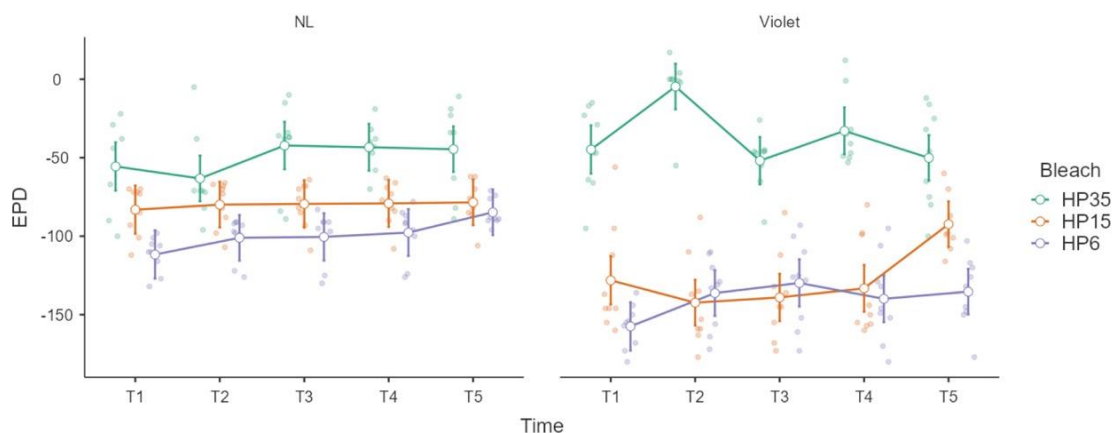


Figura 2 - Cinética química dos géis clareadores com presença e ausência de LED/LASER na variação do mV (EDP).

3.3 Avaliação de temperatura

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação de temperatura são apresentados na Tabela 4. Vimos que praticamente todas as análises e interações foram significativas para a variação de temperatura.

Tabela 4 - ANOVA de medidas repetidas referentes à variação de temperatura (MD - Diferença média; SE - Erro padrão; NL - Sem luz).

Bleach	Light		Bleach	Light	MD	SE	pbonferroni
HP15	NL	X	HP15	Violet	-8.77	0.43	< .00001
		X	HP35	NL	0.20	0.43	1.00000
		X	HP35	Violet	-6.66	0.43	< .00001
		X	HP6	NL	0.45	0.43	1.00000
	Violet	X	HP6	Violet	-6.78	0.43	< .00001
		X	HP35	NL	8.96	0.43	< .00001
		X	HP35	Violet	2.11	0.43	0.00020
		X	HP6	NL	9.22	0.43	< .00001
HP35	NL	X	HP6	Violet	1.99	0.43	0.00050
		X	HP35	Violet	-6.86	0.43	< .00001
		X	HP6	NL	0.26	0.43	1.00000
	Violet	X	HP6	Violet	-6.97	0.43	< .00001
		X	HP6	NL	7.11	0.43	< .00001
		X	HP6	Violet	-0.12	0.43	1.00000
HP6	NL	X	HP6	Violet	-7.23	0.43	< .00001

A Figura 3 mostra a cinética de temperatura dos protocolos de luz com fotoaceleração LED/LASER e sem LED/LASER. É possível verificar que a presença de LED/LASER interferiu na variação de temperatura, apresentando um desvio mais significativo nos períodos do que o grupo sem luz.

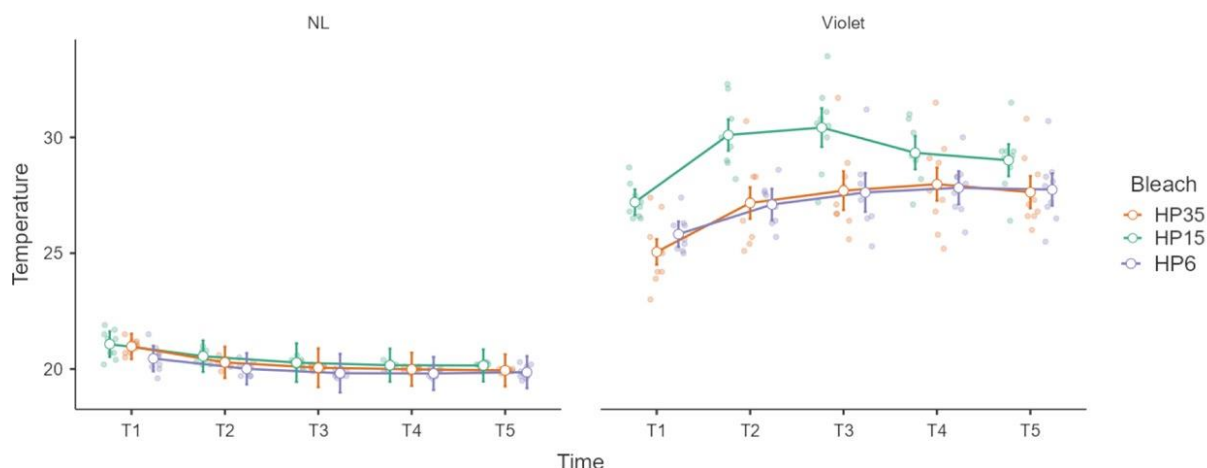


Figura 3 - Comparação da temperatura cinética de uso e ausência de LED/LASER dos géis clareadores.

Foi possível observar que a variação de temperatura não é significativa sem luz. Não houve interferência da mudança de temperatura nos grupos não irradiados. Por outro lado, os grupos irradiados apresentaram um aumento de temperatura em função da concentração do gel, com o gel HP15 apresentando um tremendo aumento.

4. Discussão

O presente estudo teve como objetivo avaliar a variação de pH, mV e temperatura de protocolos de clareamento. Rejeitamos a hipótese nula, pois todas as variáveis apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Foi possível observar que quanto maior a concentração de HP, menor o pH. Além disso, verificamos que a presença do sistema LED/LASER aumentou a temperatura (Figura 3) e alterou a cinética de pH e EDP (Figuras 1 e 2). O monitoramento da cinética do pH dos géis clareadores é primordial, pois pode avaliar o quanto varia durante um protocolo. Quanto mais ácido ou básico o pH pode afetar o resultado do clareamento ou a presença de BS[16].

Para evitar divergências significativas nos resultados e promover uma inferência mais precisa da presente pesquisa, os autores deste estudo buscaram padronizar o tempo de avaliação dos grupos e a composição dos géis clareadores do mesmo fabricante para que as únicas variáveis avaliadas sejam a concentração de HP e o uso do sistema de fotoaceleração LED/LASER em conjunto com o gel. A ausência de substratos dentários justifica-se por não influenciar nenhum comportamento, seja pH, mV ou temperatura, por qualquer variável (nível de mineralização, composição molecular ou capacidade tampão) que interfira na interação entre luz e géis clareadores.

O presente trabalho trouxe rotas alternativas de clareamento além das convencionais de alta concentração que ainda são consideradas o padrão ouro aceito por clínicos e pacientes, principalmente pelos resultados de intensa mudança de cor logo nas fases iniciais do tratamento[10]. No entanto, devido à alta produção de radicais livres e sua não seletividade pelas pigmentações, as altas concentrações são consideradas com certo grau de agressividade aos pacientes promovendo um risco aumentado de BS[10].

Ao longo dos anos, novos estudos avaliaram concentrações mais baixas de protocolos de clareamento de consultório HP e suas percepções de BS e satisfação pessoal do paciente[14,15,26], demonstrando bons valores em comparação com géis de alta concentração. Maran et al. provaram isso em uma revisão sistemática recente [10] que géis de baixa e média concentração de HP podem apresentar resultados esteticamente satisfatórios tanto quanto aqueles de grande atenção e com menor índice de BS.

É interessante mencionar que alguns trabalhos [13,27] costumam associar fontes de LED violeta para potencializar seus resultados, aproveitando que sua emissão de fótons no comprimento de onda de $405\text{ nm} \pm 15\text{ nm}$ intensifica a penetrabilidade dos radicais livres sem causar danos moleculares[28], aliada à possível interação física capaz de desestabilizar as duplas ligações carbônicas dos cromóforos também que é relatada e auxilia na sua degradação[29,30].

A utilização de fontes de luz associadas a peróxidos consiste em que parte da energia gerada é convertida em calor e, assim, a enzima peroxidase atua com mais ênfase na dissociação do HP [17,18]. No entanto, esse aumento de temperatura é

motivo de preocupação clínica justamente por causa do efeito adverso da BS. Atualmente, sabe-se que um gel com características que interajam bem com a fonte de luz utilizada é essencial para obter os melhores benefícios desta técnica, sendo comum os fabricantes apresentarem corantes em géis clareadores capazes de absorver luz, transmitindo energia térmica em o nível molecular para HP e reduzir o aquecimento do dente[17,22].

A Figura 3 observou que os grupos sem luz (NL) apresentam variação de temperatura não significativa, demonstrando que o aumento da temperatura está relacionado à interação gel/luz. Além disso, nos grupos com fotoaceleração, verifica-se que o aumento da temperatura ocorre principalmente nos primeiros 5 minutos (T2), indicando que o pico de absorção de luz pelos géis pode acontecer até este momento. Uma observação interessante é que a composição dos géis clareadores do presente estudo é semelhante, diferindo na concentração, manuseio e proporção da presença de mais espessante e catalisador. Este fato nos leva a considerar que aumentar a proporção de espessante e a cor final estabelecida do gel HP15 (vermelho) absorve mais o comprimento de onda da fonte LED/LASER utilizada do que os géis HP35 (laranja) e HP6 (amarelo) e, conseqüentemente, resulta na maior conversão de energia em calor [31]. No entanto, é fundamental notar que apesar de todos os géis apresentarem aumentos de temperatura consideráveis, eles não correm o risco de superaquecer a superfície do dente, uma vez que a energia térmica é retida no gel e fatores como a superfície dentinária, fluidos dentinários e pulparem podem dissipar o calor, tornando o protocolo viável sem problemas significativos [31].

No presente estudo, os géis clareadores apresentam os corantes à base de urucum e juá (Tabela 1). Esses compostos possuem alta afinidade com o comprimento de onda emitido pela fonte de LED/LASER, favorecendo a máxima absorção de luz e posterior conversão em calor, conforme evidenciado nos resultados associados à fotoaceleração [21,22]. Outro componente interessante a ser mencionado é a presença de nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio (Tabela 1) que interage com a luz no comprimento de onda do LED violeta e intensifica a produção de radicais livres mesmo em concentrações mais baixas de HP [26,32].

É essencial lembrar que o peróxido de hidrogênio é uma molécula instável e que sua decomposição iônica pode ou não ser iniciada na presença de um catalisador. No entanto, fatores como luz, mudança de pH e temperatura podem intensificar ou retardar essa instabilidade da molécula [16,17,33]. A cinética da mudança de pH durante o clareamento foi avaliada anteriormente[19,20] e foi verificado que géis de maiores concentrações possuem características mais ácidas, o que corrobora os resultados deste estudo. Possivelmente, isso se deve aos maiores níveis de íons H^+ incorporados ao gel que contribuem para que o pH do ambiente permaneça ácido[5] e mais estável no seu armazenamento. É interessante obter esta informação uma vez que os géis clareadores com alta concentração de HP são os mais utilizados na prática clínica[10,17,20]. A variação do pH é interessante a ser avaliada, não só para a dissociação dos radicais livres, pois géis mais alcalinos tendem a liberar compostos mais reativos que podem causar melhores resultados estéticos, mas também não atingir o pH crítico de dissolução do esmalte de 5,5[19, 33] ou ser prejudicial à polpa[3].

A literatura já relatou que géis com menores concentrações de HP associadas à luz podem elevar seus resultados estéticos ao nível de géis de alta concentração[14,34–36]. Considerando que a mudança de pH e mV vem do nível de ionização local, as Figuras 1 e 2 mostram que os géis HP6 e HP15 apresentam variações mais significativas com a fotoaceleração LED/LASER, com maior ênfase no HP15, possivelmente devido à interação mais substancial com o comprimento da cor vermelha do gel com o Violeta do LED. Por outro lado, HP35 não apresentou diferenças significativas de pH e mV com o uso de luz, sugerindo que o número de íons liberados do gel pode ser tão alto que não haveria diferença em fotoacelerar ou não, algo que também foi observado nos resultados estéticos de alguns estudos[37,38].

Em um estudo laboratorial, Pretel et al. [24] observaram correlações sólidas e negativas entre o pH dos géis clareadores e seus respectivos mV. Quando analisamos as Figuras 1 e 2, a cinética demonstra uma relação à medida que os valores de pH mudam; mV segue. De acordo com o princípio químico básico da decomposição do HP[23], isso ocorre pelo deslocamento de íons do gel. Essa carga iônica, potencializada ao ser fotoacelerada, contribui para o aumento do potencial elétrico dos protocolos investigados uma vez que o gel no presente estudo não entrou em

contato com cromóforos para liberar mais energia a partir da quebra das ligações C=C dos mesmos.

De acordo com os resultados deste estudo e análise da literatura[10], quanto maior o potencial elétrico do gel HP35, maior o potencial reativo deste gel, corroborando com resultados estéticos mais rápidos. No entanto, protocolos com concentrações mais baixas de HP podem ser alternativas interessantes para diminuir o fluxo de íons sobre os dentes do paciente e reduzir variação de potencial elétrico que pode estar vinculada a possibilidade de BS devido ao princípio da despolarização nervosa da polpa [39]. A seleção de uma alternativa de clareamento que demonstre baixa variação de pH, elevação de temperatura adequada e menor tempo de duração deve estar aliada a bons resultados estéticos[20,40]. O uso de uma fonte de luz LED/LASER auxilia a reação química e intensifica a decomposição do HP. No entanto, é necessário enfatizar a importância da escolha de parâmetros adequados e protocolos seguros para os melhores resultados [17].

O presente estudo é uma fase de pesquisa temática para elucidar uma maior compreensão da cinética química dos agentes clareadores e sua possível influência na sensibilidade ao clareamento dental. A teoria atual, baseada em resultados anteriores, considera que quanto maior for a variação de pH, mV e temperatura local do tratamento clareador, maiores serão as chances de poder resultar na despolarização nervosa da polpa e, assim, promover os sintomas característicos da BS conhecidos como o Efeito Zinger. Novos estudos comparando a variação dos parâmetros citados de diferentes concentrações de géis clareadores de consultório devem ser incentivados para otimizar os resultados deste estudo para outros produtos disponíveis no mercado e assim evoluir a hipótese da interferência da cinética química no processo de sensibilidade no clareamento dental.

5. Conclusão

O presente estudo rejeitou a hipótese nula e demonstrou que o uso de LED/LASER aumentou a temperatura dos géis e potencializou a ionização ao nível de alterar a cinética de pH e mV de HP6 e HP15, o que não ocorreu em HP35, possivelmente devido ao alto potencial iônico ligado à concentração. Além disso, verificou-se que o LED no comprimento de onda violeta é melhor absorvido no gel

vermelho do que na cor laranja ou amarelo, o que pode ter influenciado na ionização mais significativa do gel HP15.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Código de Finanças 001 - Número do Processo: 88887.464717/2019-00) pelo Instituto Nupen e pelo suporte de equipamentos DMC neste estudo.

Referencias

- [1] S.R. Kwon, P.W. Wertz, Review of the mechanism of tooth whitening, *J. Esthet. Restore. Dent.* 27 (2015) 240–257. <https://doi.org/10.1111/jerd.12152>.
- [2] MQ. Alqahtani, Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: A literature review, *Saudi Dent. J.* 26 (2014) 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2014.02.002>.
- [3] O. Gökyay, F. Yilmaz, S. Akin, M. Tunçbilek, R. Ertan, Penetration of the pulp chamber by bleaching agents in teeth restored with various restorative materials, *J. Endod.* 26 (2000) 92–94. <https://doi.org/10.1097/00004770-200002000-00008>.
- [4] AC Trentino, A.F. Soares, M.A.H. Duarte, S.K. Ishikiriama, R.F.L. Mondelli, Evaluation of pH levels and surface roughness after bleaching and abrasion tests of eight commercial products, *Photomed. Laser Surg.* 33 (2015) 372–377. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3869>.
- [5] B. Xu, Q. Li, Y. Wang, Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties, *Oper. Dent.* 36 (2011) 554–562. <https://doi.org/10.2341/11-045-1>.
- [6] C.A.S. Costa, H. Riehl, J.F. Kina, N.T. Saccone, J. Hebling, Human pulp responses to in-office tooth bleaching, *J. Esthet. Restore. Dent.* 26 (2010) e59–e64. <https://doi.org/10.1111/jerd.12121>.

- [7] D.G. Soares, F. Gonçalves Basso, J. Hebling, C.A. De Souza Costa, Effect of hydrogen-peroxide-mediated oxidative stress on human dental pulp cells, *J. Dent.* 43 (2015) 750–756. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.12.006>.
- [8] K. Markowitz, Pretty painful: Why does tooth bleaching hurt?, *Med. Hypotheses.* 74 (2010) 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2009.11.044>.
- [9] H. Moosavi, N. Arjmand, F. Ahrari, M. Zakeri, F. Maleknejad, Effect of low-level laser therapy on tooth sensitivity induced by in-office bleaching, *Lasers Med. Sci.* 31 (2016) 713–719. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1913-z>.
- [10] B.M. Maran, T. de P. Matos, A. dos S. de Castro, L. Vochikovski, A.L. Amadori, A.D. Loguercio, A. Reis, S.B. Berger, In-office bleaching with low/medium vs. high concentrate hydrogen peroxide: a systematic review and meta-analysis, *J. Dent.* 103 (2020) 103499. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103499>.
- [11] C.L. Wijetunga, M. Otsuki, N. Hiraishi, M.N. Luong, J. Tagami, Effect of pH of bleaching agent on tooth bleaching action in vitro, *Dent. Mater. J.* 40 (2021) 566–572. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-191>.
- [12] V.B. Haywood, Treating sensitivity during tooth whitening, *Compend. Contin. Educ. Dent.* 26 (2005) 11–20.
- [13] JL de S.G. Costa, B.R. Nogueira, OBDO Junior, H. Pretel, Association of microabrasion and tooth whitening with LED/laser system in treating incisor hypomineralization : 3-year follow-up, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 33 (2021) 2020–2022. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102197>.
- [14] J.F. Bortolatto, H. Pretel, M.C. Floros, A.C.C. Luizzi, A.A.R. Dantas, E. Fernandez, G. Moncada, O.B. de Oliveira, Low Concentration H₂O₂/TiO₂ in Office Bleaching: A Randomized Clinical Trial, *J. Dent. Res.* 93 (2014) 66S–71S. <https://doi.org/10.1177/0022034514537466>.
- [15] J.F. Bortolatto, T.C. Trevisan, P.S.I. Bernardi, E. Fernandez, L.N. Dovigo, A.D. Loguercio, O. Batista de Oliveira Junior, H. Pretel, A novel approach for in-office tooth bleaching with 6 % H₂O₂/TiO₂ and LED/laser system—a controlled, triple-blinded, randomized clinical trial, *Lasers Med. Sci.* 31 (2016) 437–444. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1866-2>.

- [16] C.R.G. Torres, E. Crastechini, F.A. Feitosa, C.R. Pucci, A.B. Borges, Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening, *Oper. Dent.* 39 (2014) E261–E268. <https://doi.org/10.2341/13-214-L>.
- [17] W. Buchalla, T. Attin, External bleaching therapy with activation by heat, light or laser-A systematic review, *Dent. Mater.* 23 (2007) 586–596. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.03.018>.
- [18] S. Alshammery, Evaluation of light activation on in-office dental bleaching: A systematic review, *J. Contemp. Dent. Pract.* 20 (2019) 1355–1360. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2676>.
- [19] A.F. Soares, J.F.S. Bombonatti, MS Alencar, E.C. Consolmagno, H.M. Honório, R.F.L. Mondelli, Influence of pH, bleaching agents, and acid etching on surface wear of bovine enamel, *J. Appl. Oral Sci.* 24 (2016) 24–30. <https://doi.org/10.1590/1678-775720150281>.
- [20] G. Grazioli, L.L. Valente, C.P. Isolan, H.A. Pinheiro, C.G. Duarte, E.A. Münchow, Bleaching and enamel surface interactions resulting from the use of highly-concentrated bleaching gels, *Arch. Oral Biol.* 87 (2018) 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.12.026>.
- [21] P.M. de Freitas, A.N. Menezes, A.C.C. da Mota, A. Simões, F.M. Mendes, A.D.N. Lago, L.S. Ferreira, T.M. Ramos-Oliveira, Does the hybrid light source (LED/laser) influence temperature variation on the enamel surface during 35% hydrogen peroxide bleaching? A randomized clinical trial., *Quintessence Int.* 47 (2016) 61–73. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a34454>.
- [22] R.F.L. Mondelli, A.F. Soares, E. Gabriel, K. Pangrazio, L. Wang, K. Ishikiriama, J. Fraga, S. Bombonatti, R.U.D. Frpelqdwlrq, R.I. Erwk, Q.R.I. Fh, E. Lv, Evaluation of temperature increase during in-office bleaching, *J. Appl. Oral Sci.* 24 (2016) 136–41.
- [23] R. Jozef, G. De Moor, J. Verheyen, A. Diachuk, P. Verheyen, M.A. Meire, P.J. De Coster, F. Keulemans, M. De Bruyne, L.J. Walsh, Insight in the Chemistry of Laser-Activated Dental Bleaching, *Sci. World J.* 2015 (2015) 1–5.

- [24] H. Pretel, J. Lucas de Sousa Gomes Costa, F.L. Esteban Florez, B.R. Nogueira, O. Batista de Oliveira Junior, Assessment of the temporal variation of electrical potential and pH of different bleaching agents, *Heliyon*. 7 (2021) 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08452>.
- [25] J.R. Clay, Axonal excitability revisited, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 88 (2005) 59–90. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2003.12.004>.
- [26] J. Martín, P. Vildósola, C. Bersezio, A. Herrera, J. Bortolatto, J.R.C. Saad, O.B. Oliveira, E. Fernández, Effectiveness of 6% hydrogen peroxide concentration for tooth bleaching - A double-blind, randomized clinical trial, *J. Dent.* 43 (2015) 965–972. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.011>.
- [27] P. Vildosola, F. Vera, J. Ramirez, J. Rencoret, H. Pretel, O.B. Oliveira, M. Tonetto, J. Martin, E. Fernandez, Comparison of effectiveness and sensitivity using two in-office bleaching protocols for a 6% hydrogen peroxide gel in a randomized clinical trial, *Oper. Dent.* 42 (2017) 244–252. <https://doi.org/10.2341/16-043-C>.
- [28] A.P. Brugnare, S. Nammour, J.A. Rodrigues, E. Mayer-Santos, P.M. De Freitas, A. Brugnera, F. Zanin, Clinical Evaluation of In-Office Dental Bleaching Using a Violet Light-Emitted Diode, *Photobiomodulation, Photomedicine, Laser Surg.* 38 (2020) 98–104. <https://doi.org/10.1089/photob.2018.4567>.
- [29] F. Zanin, Recent Advances in Dental Bleaching with Laser and LEDs, *Photomed. Laser Surg.* 34 (2016) 135–136. <https://doi.org/10.1089/pho.2016.4111>.
- [30] A.D.N. Lago, W.D.R. Ferreira, G.S. Furtado, Dental bleaching with the use of violet light only: Reality or Future?, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 17 (2017) 124–126. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.11.014>.
- [31] T. Sari, G. Celik, A. Usumez, Temperature rise in pulp and gel during laser-activated bleaching: in vitro, *Lasers Med. Sci.* 30 (2015) 577–582. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1375-5>.
- [32] M. Cuppini, V.C.B. Leitune, M. De Souza, A.K. Alves, S.M.W. Samuel, F.M. Collares, In vitro evaluation of visible light-activated titanium dioxide photocatalysis for in-office dental bleaching, *Dent. Mater. J.* 38 (2019) 68–74. <https://doi.org/10.4012/dmj.2017-199>.

- [33] H. Fresh, W.H. Bowles, F. Baker, F. Rivera-Hidalgo, G. Guillen, Effect of pH on Hydrogen Peroxide Bleaching Agents, *J. Esthet. Restore. Dent.* 7 (1995) 130–133. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1995.tb00730.x>.
- [34] J. Martín, N. Ovies, P. Cisternas, E. Fernández, O.B. Oliveira Junior, M.F. De Andrade, G. Moncada, P. Vildósola, Can an LED-laser hybrid light help to decrease hydrogen peroxide concentration while maintaining effectiveness in teeth bleaching?, *Laser Phys.* 25 (2015) 1–5. <https://doi.org/10.1088/1054-660X/25/2/025608>.
- [35] T.C. Trevisan, J.F. Bortolatto, G. Rizzi, B.T. Meloto, A.A.R. Dantas, OB de Oliveira Junior, Clinical performance of 6% hydrogen peroxide containing TiO₂N nanoparticles activated by LED in varying wavelengths—a randomized clinical trial, *Lasers Med. Sci.* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03464-1>.
- [36] J.L. de S.G. Costa, J.F. Besegato, J.F. Zaniboni, L.D. Galvani, M.C. Kuga, Effects of tooth bleaching protocols with violet LED and hydrogen peroxide on enamel properties, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 38 (2022) 102733. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102733>.
- [37] T.W. Silva Daltro, S.A. Gomes de Almeida, M.F. Dias, P.C. Lins-Filho, C.H.V. da Silva, R.P. Guimarães, The influence of violet LED light on tooth bleaching protocols: In vitro study of bleaching effectiveness, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 32 (2020) 4–7. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102052>.
- [38] J.F. Bortolatto, H. Pretel, C.S. Neto, M.F. Andrade, G. Moncada, O.B. Oliveira, Effects of LED-laser hybrid light on bleaching effectiveness and tooth sensitivity: A randomized clinical study, *Laser Phys. Lett.* 10 (2013) 085601. <https://doi.org/10.1088/1612-2011/10/8/085601>.
- [39] S. Marchand, The Physiology of Pain Mechanisms : From the Periphery to the Brain, 34 (2008) 285–309. <https://doi.org/10.1016/j.rdc.2008.04.003>.
- [40] R.F.L. Mondelli, F.A.P. Rizzante, E.R. Rosa, A.F.S. Borges, A.Y. Furuse, J.F.S. Bombonatti, Effectiveness of LED/Laser irradiation on in-office dental bleaching after three years, *Oper. Dent.* 43 (2018) 31–37. <https://doi.org/10.2341/16-208-C>.

3.3 Publicação 3*

Efeitos de LED/laser sob o pH, potencial elétrico e temperatura de diferentes protocolos clareadores

Abstract

Background: O procedimento de clareamento é baseado em princípios químicos de oxi-redução e seu uso é rotineiro na odontologia. Fontes de luzes são utilizadas com o objetivo de potencializar a oxidação do peróxido de hidrogênio, mas a repercussão na cinética química do clareamento ainda não foi elucidada. O objetivo do presente estudo foi investigar variações de pH, mV e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio com a presença ou não do uso de sistema LED/laser.

Métodos: O estudo foi dividido em 12 grupos ($n = 14$) com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (6%, 15% e 35%), com fotoaceleração ou não com LED/laser sob substrato dental manchado e não manchado. A avaliação de pH, mV e temperatura foi realizada nos tempos 1,5,10,15 e 30 min após a manipulação do gel. Os dados foram avaliados por ANOVA two-way de medidas repetidas com pós-teste de Bonferroni ($\alpha = 0,05$).

Resultados: HP35 e HP15 apresentaram maiores variações de temperatura na presença de luz, bem como alterações de pH e mV, enquanto que HP6 foi o gel mais estável tanto na presença como na ausência de LED/laser. A presença de manchamento não afetou a cinética química de nenhuma das variáveis.

Conclusão: O aumento de temperatura com o uso de LED/laser pode promover alterações na cinética química de pH e mV de HP35 e HP15, em contrapartida não foi o suficiente para promover diferenças significativas em HP6 no tempo de 30 min.

Palavras-chave: Peróxido de hidrogênio; Potencial elétrico; pH; Evolução temporal; Clareamento dental, LED.

* Formatação de acordo com as normas do periódico *Operative Dentistry*, para o qual será submetido.

1. Introdução

A demanda por estética na odontologia tem tornado o clareamento dental um procedimento bastante requisitado tanto pela eficácia e segurança que possui, como pelo baixo custo[1,2]. Atualmente, diversos protocolos clareadores são descritos na literatura em busca de se obter o melhor tratamento possível que alie bons resultados e o mínimo desconforto do paciente.

O principal agente clareador trata-se do peróxido de hidrogênio(HP), o mecanismo de ação parte da reação química de oxi-redução com os pigmentos presentes na estrutura dental que, por sua vez, são compostos de longas moléculas orgânicas repletas de ligações insaturadas que formam anéis aromáticos[1,2]. Ao entrar em contato com dente, o peróxido de hidrogênio atua como um forte oxidante/redutor e se decompõe em radicais livres com diferentes potenciais redox que podem ser medidos em volts[3]. É interessante mencionar que o nível do potencial redox de um clareamento, determina sua reatividade na quebra de ligações conjugadas C=C das moléculas de pigmentos e as transformam em cadeias mais simples de carbono e, com sua saturação, altera a percepção óptica dos dentes, se caracterizando como mais clara.

O intuito do alto número de trabalhos e produtos que abrangem o procedimento de clareamento é melhorar sua eficácia, mas também diminuir seus efeitos adversos. Apesar de ser considerado seguro e minimamente invasivo, a não seletividade dos radicais livres promove mudanças sobre as estruturas dentais[4–6], tendo como principal característica os sintomas de sensibilidade(BS) por “choques elétricos agudos” conhecidos na literatura como “Efeito Zinger”[7,8].

Dentre as abordagens descritas atualmente, é comum se ver o emprego de fontes de luz auxiliando a fotoaceleração do gel clareador [9–11]. Esse tipo de técnica apresenta uma filosofia interessante, pois a energia fotônica promove o aumento de energia térmica que acelera a decomposição do peróxido de hidrogênio e, consequentemente, sua reatividade sobre os pigmentos. Logo, pode-se levantar a hipótese de reduzir as duas principais variáveis que influenciam no acometimento de BS: a concentração do gel e o tempo de exposição[9–11]. Atualmente, pela grande quantidade de energia, diodos emissores de luz (LEDs) na cor violeta surgem como a principal fonte de luz associada ao clareamento, sobretudo de géis cuja composição apresenta menores concentrações de HP e contém agentes semicondutores como o

dióxido de titânio dopados com nitrogênio (TiO₂-N)[10]. O acréscimo de agentes condutores permite que, na sua interação com a luz, se elevem os níveis de reatividade dos géis de menores concentrações, mas com maior segurança em relação aos tradicionais tratamentos com géis de alta concentração[11].

No entanto, apesar do LED violeta apresentar um comprimento de onda (405 nm $\pm$ 15 nm) de baixa penetrabilidade no tecido dentário e maior energia sobre sua superfície [12–14], ainda existe a preocupação de que o clareamento fotoacelerado com luz promova um aumento de potencial redox e de temperatura [15,16] ao ponto de alterar a estabilidade do pH [17,18] do agente clareador e isso repercute nos índices de BS dos pacientes. Somados a isso, em estudo de Pretel et al.[19] foi visto que os níveis de pH de um gel clareador estão inversamente relacionados ao potencial elétrico em mV do mesmo. A partir disso, é cogitada a hipótese de que uma variação significativa de potencial elétrico possa estar vinculada com a presença de BS pelo princípio de despolarização nervosa[20].

Baseado na presente filosofia, o objetivo do presente estudo foi avaliar a cinética de pH, mV e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio com nanopartículas de (TiO₂-N), com a presença ou não de protocolo de luz violeta com laser infravermelho (LED/laser), sob substrato dental, manchados(Tea) e não manchados(natural), A hipótese nula considerada é que as diferentes concentrações de HP e protocolos com ou sem fotoaceleração com LED/laser não apresentam diferenças na cinética de pH, mV e temperatura independente da presença de manchamento nos espécimes ao longo do procedimento.

2. Materiais e métodos

2.1. Delineamento experimental in vitro

2.1.1. Tamanho amostral

O estudo experimental laboratorial teve 12 grupos, o tamanho amostral dos espécimes dentais foi obtido pelo software G*Power 3.1.9.2., utilizando o desenho de estudos com medidas repetidas, com nível de significância de 5%, tamanho do efeito 0,25 e poder do teste de 80%. Determinando que o n de cada grupo foi de 14 repetições.

No estudo, que foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CAEE: 29383620.6.0000.5416)(Anexo B) da Faculdade de Odontologia de Araraquara, foram utilizados 84 dentes terceiros molares humanos hígidos, livres de trincas e fissuras, obtidos de indivíduos com idade entre 18 e 50 anos. Os dentes foram obtidos através do Banco de dentes da Faculdade de Odontologia de Araraquara e ficaram armazenados em água destilada (4° C) até o momento da sua utilização. As coroas e as raízes foram separadas com auxílio de discos de diamante de precisão na máquina de corte Isomet 1000 (Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA), e em seguida foram realizados cortes axiais no sentido mésiodistal de cada elemento para separar as faces vestibular e lingual dos mesmos. Descartando a face lingual, a face vestibular ainda foi seccionada no sentido ocluso-cervical em duas metades. Totalizando em 168 espécimes vestibulares e metade foi submetida ao protocolo de manchamento e a outra, não.

2.1.2. Metodologia do manchamento

Após obtenção dos espécimes, eles foram incluídos em matrizes de cera utilidade (Lysanda, São Paulo, SP, Brasil), a área destinada a limitação do gel clareador baseada no diâmetro da ponta do espectrofotômetro isolada com barreira gengival (Lase protect, DMC, São Carlos, SP, Brasil). Os grupos destinados ao manchamento foram imersos numa solução concentrada de chá preto preparada com 500 mL de água e 16g de chá (10 saquinhos). O protocolo de manchamento consistiu em 18 horas de imersão no chá preto com 6 horas de secagem à temperatura ambiente. Os espécimes foram submetidos à 4 ciclos completos do protocolo acima. Após manchados, os espécimes foram armazenados durante 1 semana em água destilada para estabilização de cor[21].

2.1.3. Alocação dos espécimes

Para padronização inicial da cor, os espécimes manchados e não manchados foram avaliados por espectrofotômetro Vita Easyshade IV (Wilcos, Petrópolis, RJ, Brazil). O valor inicial de L* de cada espécime foi utilizado para padronizar a aleatorização dos grupos de forma mais homogênea.

2.1.4. Manipulação dos géis e divisão dos grupos

A manipulação dos géis (Tabela 1) foi realizada conforme solicitada pelo fabricante(disponível em www.dmcgroup.com.br) dentro de um recipiente de vidro inerte. O volume das amostras foi determinado com 12 gotas (~ 50 µL cada), sendo na proporção 3:1 entre peróxido e espessante (fases 1 e 2) para os géis de

concentração 35% e 6% de HP (9 gotas de peróxido e 3 gotas de espessante), enquanto o gel de 15% ficou na proporção de 1:1:1(fases 1, 2 e 3) entre peróxido, espessante e diluidor (4 gotas de peróxido, 4 de espessante e 4 de diluidor). A mistura das gotas foi manipulada por uma espátula plástica com movimentos circulares durante 10 seg até a homogeneização da cor descrita na Tabela 1. A área delimitada para receber o gel clareador foi padronizada com altura de 2mm[22,23] delimitada pela barreira gengival dos próprios kit clareadores (Lase protect, DMC, São Carlos, SP, Brazil) para que todos os espécimes recebessem quantidade de gel semelhante.

Os grupos destinados a receber fotoaceleração por LED/laser tiveram o protocolo de 1 min de luz com 1 min de descanso por LED violeta (405 nm $\pm$ 15 nm; 2400 mW) e laser infravermelho (810 nm; 300 mW) (Whitening light plus, DMC, São Carlos, SP, Brazil). Todo o trabalho foi avaliado em grupos sob o dente sem manchamento (natural) e sob dente manchado (tea). Todo o experimento foi realizado por um único operador previamente capacitado para reduzir as chances de variações provenientes de manipulações por parte do operador. Além disso, as condições ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar, foram mantidas constantes ao longo de todo o estudo.

Tabela 1. Grupos, agentes clareadores, composição e cor dos protocolos utilizados neste estudo.

Grupos	Produto	Composição	Cor
<u>PH35NL(Natural,tea)</u> <u>PH35VL(Natural, tea)</u>	Lase Peroxide Flex 35% (DMC, São Carlos, SP, Brazil)	Mistura das Fases 1 e 2 (35% de peróxido de hidrogênio): peróxido de hidrogênio, espessante, catalisador de nanopartículas (dióxido de titânio), neutralizante, corante de urucum e juá, agente quelante e água purificada	Laranja
<u>PH15NL(Natural, tea)</u> <u>PH15VL(Natural, tea)</u>	Lase Peroxide Flex 15% (DMC, São Carlos, SP, Brazil)	Mistura das Fases 1,2 e 3 (15% de peróxido de hidrogênio): peróxido de hidrogênio, espessante, catalisador de nanopartículas (dióxido de titânio), neutralizante, corante de urucum e juá, agente quelante e água purificada	Vermelho
<u>PH6NL(Natural, tea)</u> <u>PH6VL(Natural, tea)</u>	Nano White Flex 6% (DMC, São Carlos, SP, Brazil)	Mistura das Fases 1 e 2 (6% de peróxido de hidrogênio): peróxido de hidrogênio, espessante, catalisador de nanopartículas (dióxido de titânio), neutralizante, corante de urucum e juá, agente quelante e água purificada	Amarelo

2.2. Intervalos tempo de avaliação de pH, EDP e temperatura

A variação de pH, EDP e temperatura foi analisada nos seguintes intervalos de tempo: 1, 5, 10, 15 e 30 minutos. Para a análise sob os espécimes dentais, foi utilizado phmetro para semisolidos (Akso, São Leopoldo, RS, Brasil).

2.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) medidas repetidas, sendo acompanhadas de pós-teste de Bonferroni ambos ao nível de significância de 5%.

3. Resultados

3.1. Análise de pH

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação de pH são apresentados na Tabela 2 e 3. Dentro de cada grupo foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para as interações: Time * Bleaching * Light * Die; Time * Bleaching * Light; Time * Light; Time * Bleaching e para o fator de medida repetida Time. Destes, a interação Time * Bleaching * Light e o fator time são os mais relevantes pois conseguem explicar 25% e 59% as variações de pH observadas (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da ANOVA intragrupo na variável pH

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Time	17.00	2.75	6.19	227.62	< .001	0.59
Time * Bleaching	1.18	5.50	0.22	7.93	< .001	0.09
Time * Light	1.22	2.75	0.44	16.29	< .001	0.09
Time * Die	0.11	2.75	0.04	1.54	0.207	0.01
Time * Bleaching * Light	3.80	5.50	0.69	25.46	< .001	0.25
Time * Bleaching * Die	0.08	5.50	0.01	0.54	0.763	0.01
Time * Light * Die	0.20	2.75	0.07	2.64	0.054	0.02
Time * Bleaching * Light * Die	0.36	5.50	0.07	2.40	0.031	0.03
Residual	11.65	428.69	0.03			

Na análise intergrupos foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as interações Light * Die; Bleaching * Light; e para os fatores principais Light e Bleaching. Destes, a interação Bleaching * Light e os fatores

bleaching e light são os mais relevantes, pois explicam os eventos observados em 38, 75 e 51%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado da ANOVA intergrupo na variável pH

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Bleaching	592.58	2	296.29	238.83	< .001	0.75
Light	198.62	1	198.62	160.10	< .001	0.51
Die	0.29	1	0.29	0.24	0.628	0.00
Bleaching * Light	117.46	2	58.73	47.34	< .001	0.38
Bleaching * Die	4.60	2	2.30	1.85	0.160	0.02
Light * Die	12.85	1	12.85	10.36	0.002	0.06
Bleaching * Light * Die	3.85	2	1.93	1.55	0.215	0.02
Residual	193.53	156	1.24			

Nota. Soma de Quadrados de Tipo 3

A cinética química dos agentes clareadores com presença ou não de LED/laser está presente na Figura 1. É possível observar claramente a influência da luz no pH de HP35 e HP15, enquanto HP6 permanece inalterado.

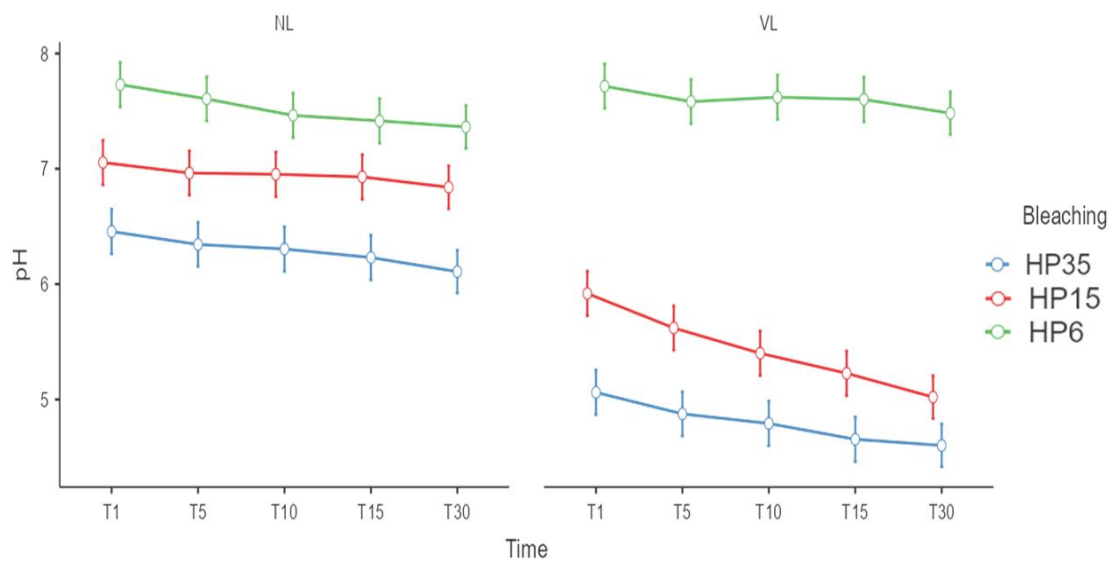


Figura 1 – Variação de pH dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença de LED/laser

Na Figura 2, estão expostos os resultados comparativos de pH dos protocolos em dentes manchados e não manchados. O manchamento não influenciou na cinética química de pH em nenhum dos géis avaliados.

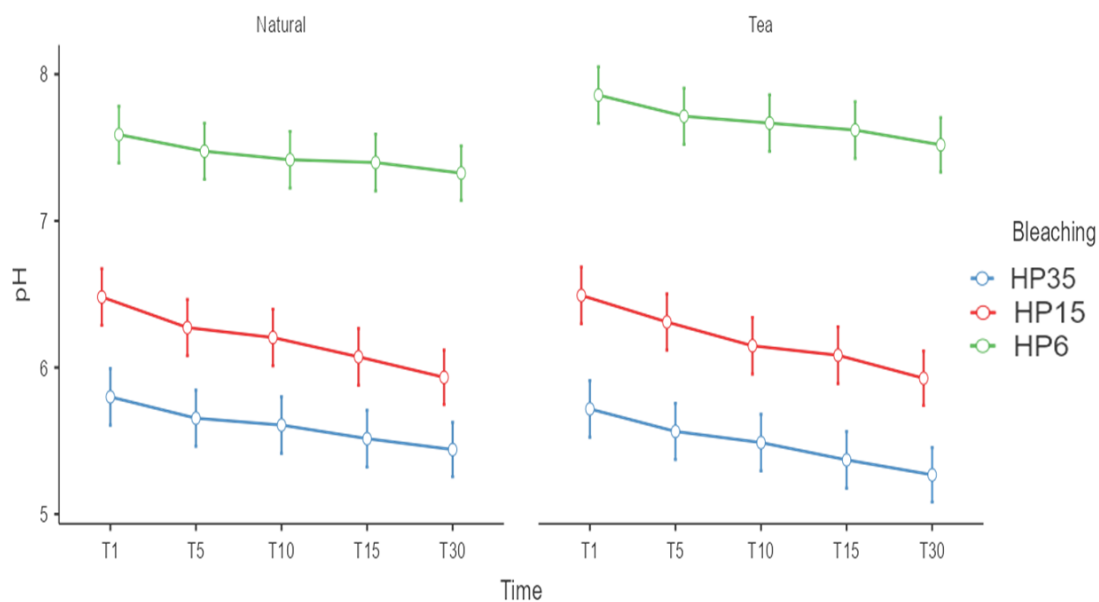


Figura 2 – Variação de pH dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença manchamento.

3.2. Análise de EDP

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação da mV estão presentes na Tabela 4 e 5. Na análise intragrupo, foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as interações Time * Bleaching * Light * Die; Time * Bleaching * Light; Time * Light; e para a variável de medida repetida time. Destas, a mais relevante intragrupos foi Time, que explica 36% dos eventos de variação da mV.

Tabela 4. Resultado da ANOVA intragrupo na variável EDP

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Time	47502.85	3.55	13377.44	86.29	< .001	0.36
Time * Bleaching	5990.77	7.10	843.54	5.44	< .001	0.07
Time * Light	4742.36	3.55	1335.51	8.61	< .001	0.05
Time * Die	657.53	3.55	185.17	1.19	0.312	0.01
Time * Bleaching * Light	9723.76	7.10	1369.17	8.83	< .001	0.10
Time * Bleaching * Die	979.66	7.10	137.94	0.89	0.515	0.01
Time * Light * Die	813.25	3.55	229.02	1.48	0.213	0.01
Time * Bleaching * Light * Die	2919.70	7.10	411.11	2.65	0.010	0.03
Residual	85878.11	553.95	155.03			

Na avaliação intergrupo, foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as interações Light * Die; Bleaching * Light; e para os fatores principais Light e Bleaching. Destes, a interação Bleaching * Light e os fatores Light e bleaching são os mais relevantes. Explicando 39, 52 e 75% a variação da mV.

Tabela 5. Resultado da ANOVA intergrupo na variável EDP

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Bleaching	2031631.50	2	1015815.75	235.64	< .001	0.75
Light	719960.08	1	719960.08	167.01	< .001	0.52
Die	12.39	1	12.39	0.00	0.957	0.00
Bleaching * Light	426483.23	2	213241.62	49.47	< .001	0.39
Bleaching * Die	12646.56	2	6323.28	1.47	0.234	0.02
Light * Die	42742.93	1	42742.93	9.92	0.002	0.06
Bleaching * Light * Die	9380.47	2	4690.24	1.09	0.339	0.01
Residual	672486.60	156	4310.81			

Nota. Soma de Quadrados de Tipo 3

Observando a Figura 3, novamente as cinéticas de mV dos géis clareadores HP35 e HP15 foram alteradas pela presença do protocolo de LED/laser utilizado, em contrapartida, HP6 permaneceu estável no processo.

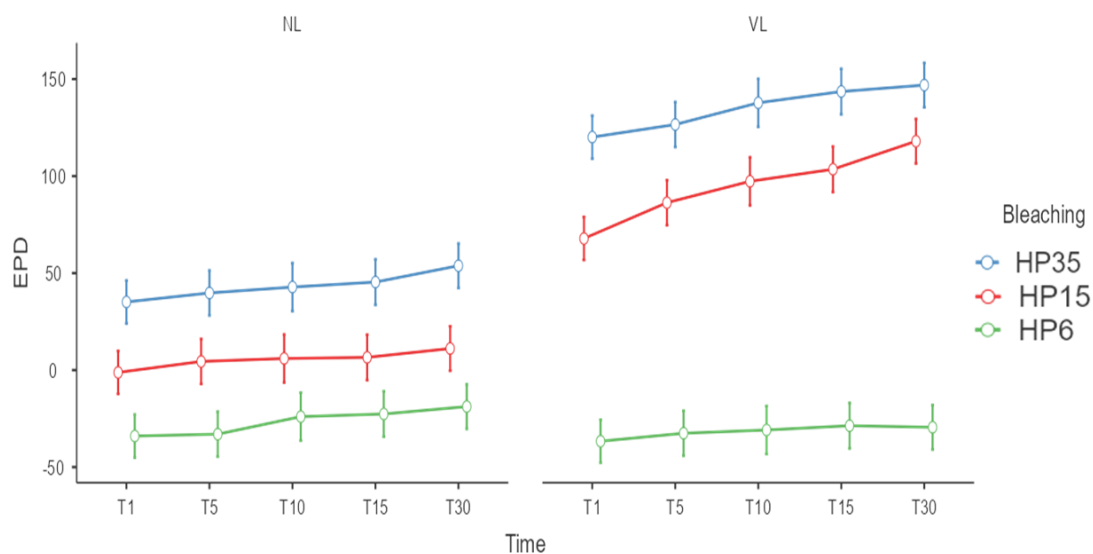


Figura 3 – Variação de mV dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença de LED/laser

A Figura 4 mostra o comparativo entre protocolos clareadores em dentes manchados e não manchados. Novamente é possível notar que a mV não foi alterada pela presença de manchamento.

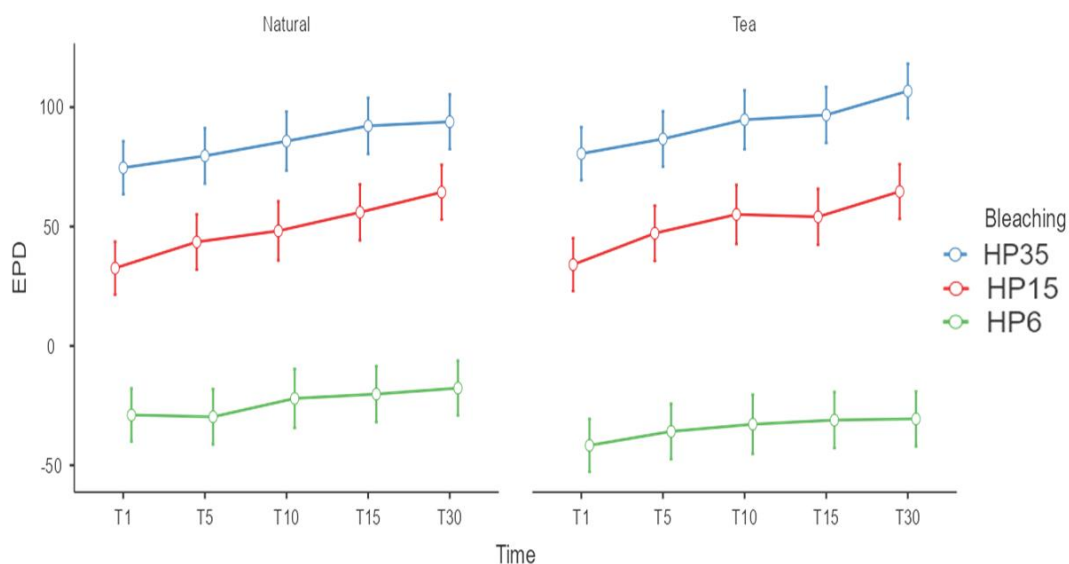


Figura 4 – Variação de mV dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença de manchamento.

3.3. Análise de temperatura

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas referentes à variação da temperatura estão presentes na Tabela 6 e 7. Na análise intragrupo foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as interações Time * Light * Die; Time * Bleaching * Die; Time * Die; Time * Light e Time * Bleaching e para o fator de medida repetida Time. A interação Time * Light e o fator Time são os mais significativos pois explicam a variação de temperatura em 50 e 49% dos casos observados.

Tabela 6. Resultado da ANOVA intragrupo na variável temperatura

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Time	559.69	3.42	163.44	147.59	< .001	0.49
Time * Bleaching	21.55	6.85	3.15	2.84	0.007	0.04
Time * Light	602.56	3.42	175.96	158.89	< .001	0.50
Time * Die	23.10	3.42	6.75	6.09	< .001	0.04
Time * Bleaching * Light	8.03	6.85	1.17	1.06	0.389	0.01
Time * Bleaching * Die	21.59	6.85	3.15	2.85	0.007	0.04
Time * Light * Die	13.19	3.42	3.85	3.48	0.012	0.02
Time * Bleaching * Light * Die	6.63	6.85	0.97	0.87	0.525	0.01
Residual	591.59	534.21	1.11			

Na avaliação intergrupo foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as interações Bleaching * Light * Die e Bleaching * Light. Os fatores principais Light e Bleaching também condicionaram diferenças estatísticas. Destes, a interação Bleaching * Light e os fatores principais Bleaching e Light conseguem explicar 58, 71 e 95% dos efeitos observados, respectivamente.

Tabela 7. Resultado da ANOVA intergrupo na variável temperatura

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p	η^2_p
Bleaching	2208.28	2	1104.14	195.22	< .001	0.71
Light	18013.48	1	18013.48	3184.87	< .001	0.95
Die	18.63	1	18.63	3.29	0.071	0.02
Bleaching * Light	1197.22	2	598.61	105.84	< .001	0.58
Bleaching * Die	11.74	2	5.87	1.04	0.357	0.01
Light * Die	5.42	1	5.42	0.96	0.329	0.01
Bleaching * Light * Die	46.94	2	23.47	4.15	0.018	0.05
Residual	882.33	156	5.66			

Nota. Soma de Quadrados de Tipo 3

Na Figura 5, é notável a influência da presença de luz para o aumento de temperatura dos protocolos clareadores. Sendo os três géis apresentando aumento e estabilizando a temperatura a partir de T10 e HP35 e HP15 apresentando aumentos mais significativos de temperatura em relação a HP6.

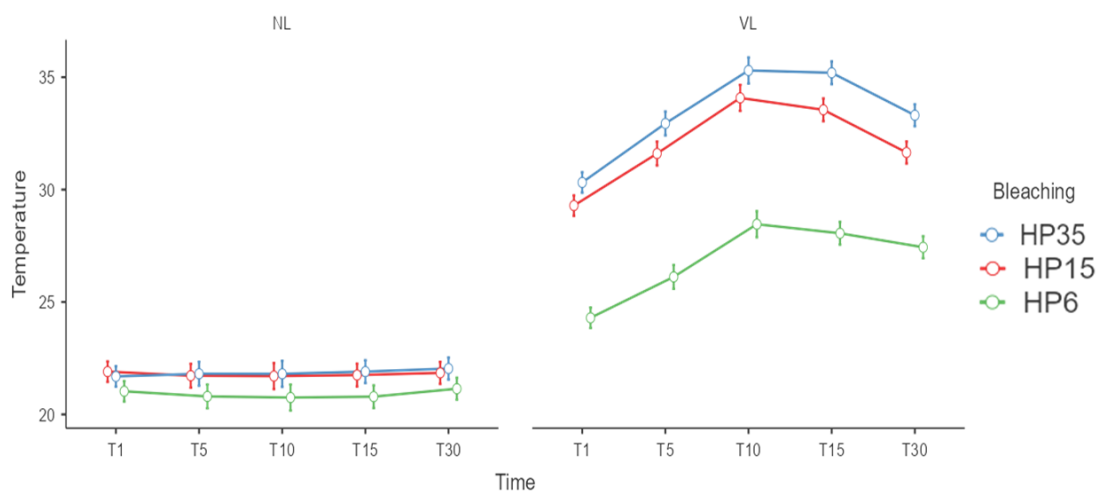


Figura 5 – Variação de temperatura dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença de LED/laser

A Figura 6 mostra o comparativo entre protocolos clareadores em dentes manchados e não manchados. Novamente é possível notar que o manchamento não afetou a cinética de nenhum dos géis testados.

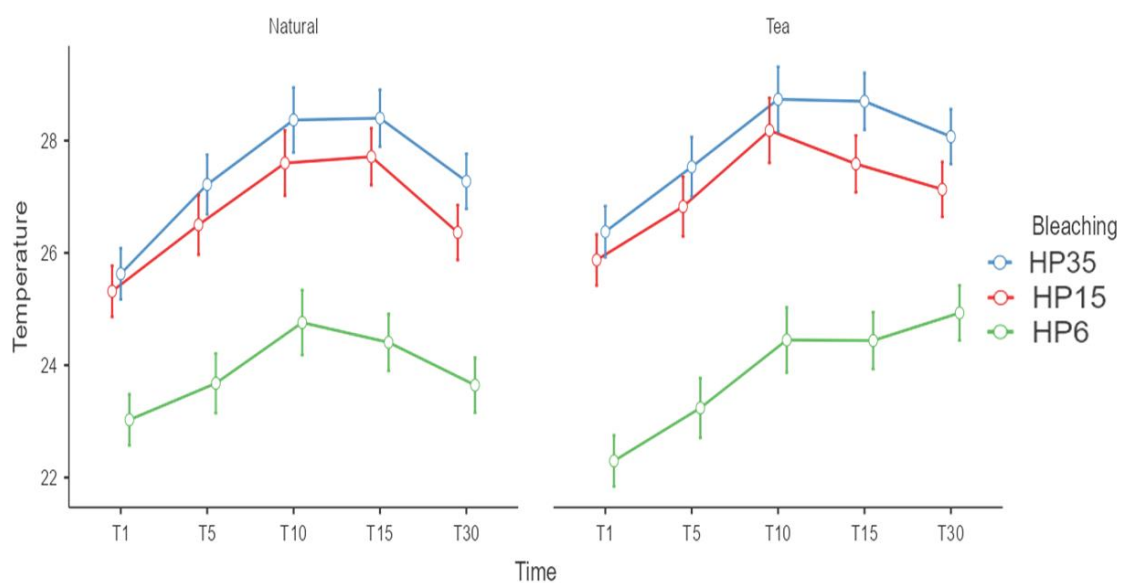


Figura 6 – Variação de temperatura dos géis clareadores em função do tempo de protocolos com e sem a presença de manchamento.

4. Discussão

O presente estudo avaliou a cinética de pH, EDP e temperatura de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio com e sem fotoaceleração por LED/laser sob esmalte dental humano com e sem a presença de manchamento. Esse tipo de análise é interessante para verificar o potencial de liberação de íons do protocolo clareador e a capacidade de repercussão na sua eficácia, bem como seu potencial de agressividade às estruturas dentárias. A hipótese nula foi rejeitada visto que as três variáveis avaliadas apresentaram diferenças estatísticas.

Atualmente existe uma ampla gama de protocolos clareadores e a falta de padronização é algo que dificulta as reais conclusões acerca do clareamento dental[24]. Para se obter melhor inferência e minimizar as variáveis de resultados, o presente estudo foi realizado com géis de composição semelhante que apresentam a adição de TiO_2 com partículas de nitrogênio como semicondutor em sua composição[25–27], diferenciando principalmente em sua concentração de HP e sua pigmentação final(Tabela 1). Além disso, os autores do presente trabalho padronizaram o protocolo do gel HP6 de 30 min com fotoaceleração de LED/laser a cada um minuto, seguido de um minuto de descanso. O estudo foi realizado com espécimes extraídos de molares hígidos com e sem a presença de manchamento, adicionando o nível de mineralização e composição molecular dos elementos dentários como fatores que podem que podem influenciar nas variáveis analisadas[28,29].

Em virtude da alta taxa de sensibilidade promovida pelos géis de altas concentrações de HP, protocolos visando potencializar os resultados estéticos de géis com baixa concentração vêm sendo estudados em associação com o uso de luz[10,11,26]. O sucesso da abordagem de se utilizar luz no clareamento depende de uma boa interação entre a fonte luminosa e o gel clareador, para que, assim, a energia fotônica recebida seja convertida em calor, e o volume de radicais livres e reações de oxi-redução sejam aumentados. Esses fatores podem ser observados nas Tabelas 3, 5 e 7, onde os fatores bleaching, light e sua interação são os principais responsáveis pelas variáveis analisadas. O LED utilizado no presente estudo foi no comprimento de onda violeta, em virtude do alto volume de energia fotônica que emite e capacidade de agir nas camadas

onde o gel está localizado, com laser infravermelho que tem maior capacidade de penetração nos tecidos dentais e auxilia na elevação de temperatura local e aumenta a geração e mobilidade dos radicais livres [30].

Apesar dos produtos utilizados neste estudo possuírem composição semelhante, ao final da manipulação eles possuem coloração diferente (Tabela 1). Essa informação é de extrema valia, visto que o gel que mais apresentar conversão de energia fotônica em térmica é o gel que mais apresenta interação e, conseqüentemente, absorção com a fonte de luz utilizada[31]. Como mencionado anteriormente, os géis avaliados apresentam na composição nanopartículas TiO_2 dopadas com nitrogênio que para exercer suas propriedades oxidantes é essencial uma boa afinidade com a fonte de luz utilizada [32]. De acordo com os resultados expostos na Figura 5, e os valores da interação bleaching e light da Tabela 7, foi possível observar que os géis HP35 (laranja) e HP15(vermelho) apresentaram melhor interação com o LED violeta do que HP6(amarelo), porém todos apresentaram estabilização de temperatura em 10 min, provavelmente pela perda de coloração dos géis, que tendem ao branco, interagindo menos com a luz.

O aumento de temperatura dos géis e, conseqüentemente, maior produção de radicais livres, levaram a modificações notáveis na cinética de pH dos géis HP35 e HP15 (Figura 1). De acordo com os resultados do presente estudo, e corroborando com a literatura[6,18], o gel de maior concentração (HP35) teve o menor pH avaliado, com intensificação de decaimento na presença de luz, justificado com as maiores dissociações de íons H^+ e reações de oxi-redução, enquanto HP6 permaneceu estável independente da fotoaceleração com LED/laser[5], provavelmente pela sua concentração menor e menores níveis de reações. Convém se mencionar, que o pKa, pH de maior dissociação, do HP é em torno de 11,5[33] e que quanto mais distante desse pH, menor o número de reações. Logo, para adquirir maior estabilidade de armazenamento, os fabricantes mantêm os géis em ambiente ácido com orientação de manipulação apenas no momento do uso, então é natural que pela maior concentração, o HP35 apresente pH mais ácido[34] e HP6 mais básico.

Avaliar o pH dos procedimentos de clareamento é interessante por uma série de motivos. Primeiramente, por que géis mais alcalinos tendem à apresentar maior potencial de oxidação e, conseqüentemente, melhores resultados

estéticos. Géis com baixos níveis de oxidação tendem a dissociar menos radicais livres e é possível que o HP não decomposto permaneça na dentina e possa atingir à polpa, ocasionando diferentes níveis de inflamações[35]. Além disso, sabe-se que apesar de serem considerados procedimentos seguros, é interessante que o pH do gel não seja menor que o pH crítico do esmalte (5,5) para evitar danos prejudiciais à estrutura dental. No presente trabalho, os protocolos de HP35 e HP15 em associação com luz foram considerados abaixo do pH crítico, porém convém mencionar que a capacidade tampão da saliva é algo que pode reverter esse quadro, elevando o pH.

Em relação a EDP, um fator interessante recentemente relatado por Pretel et al.[19] em estudo in vitro, menciona que existe uma correlação forte e negativa entre os valores de pH e mV dos géis. Como mencionado anteriormente, os radicais livres liberados possuem diferentes potenciais redox, o aumento da sua produção em virtude da fotoaceleração por luz, evidentemente alterou a cinética química de mV, notadas na Figura 3, apresentando maior variação de potencial elétrico nos géis HP35 e HP15, enquanto esses mesmos géis sem aplicação de LED/laser apresentam maiores estabilidades. HP6 foi o único que não apresentou diferenças significativas mesmo com a presença de luz, possivelmente este resultado está relacionado ao percentual de água maior na composição do que os demais e a sua evaporação promove um efeito isolante que dificulta a elevação de temperatura local (Figura 5), consequentemente, repercutindo menos no pH(Figura 1) e EDP (Figura 3). Logo, pode-se especular que o aumento de temperatura pode influenciar no potencial elétrico dos géis[3] e, corroborando com a literatura[11,24,36], levantar a hipótese de que os géis que apresentam maiores potenciais elétricos, como HP35, são os mais prováveis de gerar sensibilidade pelo princípio da despolarização nervosa.

Neste estudo foi avaliado a possível influência do manchamento por chá preto na cinética química das variáveis em comparação ao grupo natural. O modo como os radicais livres agem sobre as substâncias cromógenas consiste na quebra das cadeias C=C conjugadas, inclusive a utilização de luz do clareamento se torna interessante não apenas pelo aumento de dissociação de radicais livres e suas mobilidades pela estrutura dental, mas existe a possibilidade da luz interagir diretamente com o pigmento[37,38], embora tenha sido relatado que o LED violeta, embora muito energético, não tem capacidade

de penetração o suficiente para alcançar as moléculas em questão, apresentando resultados aquém do esperado e com baixa estabilidade[30,39].

Ao se aplicar o gel clareador associado ou não a LED/laser, as moléculas cromóforas absorvem a energia até o momento que a quebra de ligação ocorre, após isso o excesso de energia é convertido em calor ou pela propagação de fótons[3]. No presente estudo a medição realizada pelo pHmetro estava avaliando a superfície do gel, logo a interação dos radicais livres + LED/laser que promoveu liberação de energia suficiente pra quebra de cromógenos no interior da estrutura dentária pode não ter sido verificada pelo aparelho e, assim, não afetou a cinética de pH, mV e temperatura nas condições expostas(Figuras 2, 4 e 6), sendo atribuídas a energia apenas à fotoaceleração e ao deslocamento de íons entre si e em reações com a estrutura dental (Tabelas 2,4 e 6).

O presente estudo faz parte de uma série de etapas de aprofundamento do conhecimento relacionado à cinética química do clareamento dental, hipotetizando sua possível influência sobre o efeito adverso da sensibilidade. Baseado no presente estudo e em resultados anteriores[19], é possível se observar que a presença de LED/laser eleva a temperatura dos géis e, dependendo do aumento, a cinética de pH e mV pode ser alterada. Protocolos com maior variação de potencial elétrico seriam os mais prováveis de apresentar despolarização nervosa e os sintomas de característicos do efeito Zinger. Os autores do presente trabalho consideram que os resultados sirvam como base para estimular futuros estudos in vitro e in vivo acrescentando níveis de variáveis mais aprofundados que contribuam para o estabelecimento de novos parâmetros que permitam aprofundar a hipótese de que a cinética química do clareamento dental possa estar relacionada com a sensibilidade ao clareamento.

5. Conclusão

Foi verificado que a presença de manchamento não interferiu na cinética de pH, EDP e temperatura, independente da presença de LED/laser sob os protocolos de clareamento. Além disso, uso de LED/laser aumentou a temperatura interna dos géis clareadores, no entanto, HP35 e HP15 apresentaram maior interação com a fonte de luz na cor violeta e suas maiores elevações de temperatura repercutiram na cinética química de pH e mV dos

respectivos géis, enquanto HP6 apresentou menores variações de pH e mV, bem como menor elevação de temperatura.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Código Financeiro 001 - Processo Número: 88887.464717/2019-00) pelo apoio financeiro para o este estudo e a DMC pelos agentes clareadores doados.

Referências

- [1] S.R. Kwon, P.W. Wertz, Review of the mechanism of tooth whitening, *J. Esthet. Restor. Dent.* 27 (2015) 240–257. <https://doi.org/10.1111/jerd.12152>.
- [2] M.Q. Alqahtani, Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: A literature review, *Saudi Dent. J.* 26 (2014) 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2014.02.002>.
- [3] R. Jozef, G. De Moor, J. Verheyen, A. Diachuk, P. Verheyen, M.A. Meire, P.J. De Coster, F. Keulemans, M. De Bruyne, L.J. Walsh, Insight in the Chemistry of Laser-Activated Dental Bleaching, *Sci. World J.* 2015 (2015) 1–5.
- [4] O. Gökay, F. Yilmaz, S. Akin, M. Tunçbilek, R. Ertan, Penetration of the pulp chamber by bleaching agents in teeth restored with various restorative materials, *J. Endod.* 26 (2000) 92–94. <https://doi.org/10.1097/00004770-200002000-00008>.
- [5] B. Xu, Q. Li, Y. Wang, Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties, *Oper. Dent.* 36 (2011) 554–562. <https://doi.org/10.2341/11-045-1>.
- [6] A.C. Trentino, A.F. Soares, M.A.H. Duarte, S.K. Ishikiriama, R.F.L. Mondelli, Evaluation of pH levels and surface roughness after bleaching and abrasion tests of eight commercial products, *Photomed. Laser Surg.* 33 (2015) 372–377. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3869>.

- [7] V.B. Haywood, Treating sensitivity during tooth whitening, *Compend. Contin. Educ. Dent.* 26 (2005) 11–20.
- [8] K. Markowitz, Pretty painful: Why does tooth bleaching hurt?, *Med. Hypotheses*. 74 (2010) 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2009.11.044>.
- [9] J.L. de S.G. Costa, B.R. Nogueira, O.B.D.O. Junior, H. Pretel, Association of microabrasion and tooth whitening with LED / laser system in the treatment of incisor hypomineralization : 3-year follow-up, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 33 (2021) 2020–2022. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102197>.
- [10] J.F. Bortolatto, H. Pretel, M.C. Floros, A.C.C. Luizzi, A.A.R. Dantas, E. Fernandez, G. Moncada, O.B. de Oliveira, Low Concentration H₂O₂/TiO₂ in Office Bleaching: A Randomized Clinical Trial, *J. Dent. Res.* 93 (2014) 66S-71S. <https://doi.org/10.1177/0022034514537466>.
- [11] J.F. Bortolatto, T.C. Trevisan, P.S.I. Bernardi, E. Fernandez, L.N. Dovigo, A.D. Loguercio, O. Batista de Oliveira Junior, H. Pretel, A novel approach for in-office tooth bleaching with 6 % H₂O₂/TiO₂ and LED/laser system—a controlled, triple-blinded, randomized clinical trial, *Lasers Med. Sci.* 31 (2016) 437–444. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1866-2>.
- [12] E. Klaric, M. Rakic, M. Marcius, M. Ristic, I. Sever, Z. Tarle, Optical Effects of Experimental Light-Activated, *Photomed. Laser Surg.* 32 (2014) 160–167. <https://doi.org/10.1089/pho.2013.3658>.
- [13] F. Zanin, Recent Advances in Dental Bleaching with Laser and LEDs, *Photomed. Laser Surg.* 34 (2016) 135–136. <https://doi.org/10.1089/pho.2016.4111>.
- [14] A. Eliza, C. Garrini, S.K. Bussadori, M.M. Pinto, D. Antonio, P. Junior, A.B. Jr, F. Antonia, A. Zanin, M. Fernanda, S. Destro, L.J. Motta, A. Carolina, R. Tempestini, Evaluation of in-office tooth whitening treatment with violet LED : protocol for a randomised controlled clinical trial, *BMJ Open*. (2018) 1–9. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021414>.

- [15] P.M. de Freitas, A.N. Menezes, A.C.C. da Mota, A. Simões, F.M. Mendes, A.D.N. Lago, L.S. Ferreira, T.M. Ramos-Oliveira, Does the hybrid light source (LED/laser) influence temperature variation on the enamel surface during 35% hydrogen peroxide bleaching? A randomized clinical trial., *Quintessence Int.* 47 (2016) 61–73. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a34454>.
- [16] R.F.L. Mondelli, A.F. Soares, E. Gabriel, K. Pangrazio, L. Wang, K. Ishikirama, J. Fraga, S. Bombonatti, R.U.D. Frpelqdwlrq, R.I. Erwk, Q.R.I. Fh, E. Lv, Evaluation of temperature increase during in-office bleaching, *J. Appl. Oral Sci.* 24 (2016) 136–41.
- [17] A.F. Soares, J.F.S. Bombonatti, M.S. Alencar, E.C. Consolmagno, H.M. Honório, R.F.L. Mondelli, Influence of pH, bleaching agents, and acid etching on surface wear of bovine enamel, *J. Appl. Oral Sci.* 24 (2016) 24–30. <https://doi.org/10.1590/1678-775720150281>.
- [18] G. Grazioli, L.L. Valente, C.P. Isolan, H.A. Pinheiro, C.G. Duarte, E.A. Münchow, Bleaching and enamel surface interactions resulting from the use of highly-concentrated bleaching gels, *Arch. Oral Biol.* 87 (2018) 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.12.026>.
- [19] H. Pretel, J. Lucas de Sousa Gomes Costa, F.L. Esteban Florez, B.R. Nogueira, O. Batista de Oliveira Junior, Assessment of the temporal variation of electrical potential and pH of different bleaching agents, *Heliyon.* 7 (2021) 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08452>.
- [20] J.R. Clay, Axonal excitability revisited, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 88 (2005) 59–90. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2003.12.004>.
- [21] V.T.P. Vaz, D.P. Jubilato, M.R.M. de Oliveira, J.F. Bortolatto, M.C. Floros, A.A.R. Dantas, O.B. de Oliveira Junior, Whitening toothpaste containing activated charcoal, blue covarine, hydrogen peroxide or microbeads: Which one is the most effective, *J. Appl. Oral Sci.* 27 (2019) 1–8. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0051>.
- [22] T.M.F. Caneppele, C.R.G. Torres, M.F.R.L. Huhtala, E. Bresciani, Influence of whitening gel application protocol on dental color change, *Sci. World J.* 2015 (2015) 420723. <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L603546864%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1155/2015/420723>.

- [23] T.M. Manzoli, J.L. de S.G. Costa, J.F. Besegato, M.B. Gelio, L.D. Galvani, E.A.F. Bordini, M.C. Kuga, A.A.R. Dantas, Violet LED associated with high concentration hydrogen peroxide: Effects on bleaching efficacy, pH, and temperature, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 40 (2022) 103133. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103133>.
- [24] B.M. Maran, T. de P. Matos, A. dos S. de Castro, L. Vochikovski, A.L. Amadori, A.D. Loguercio, A. Reis, S.B. Berger, In-office bleaching with low/medium vs. high concentrate hydrogen peroxide: a systematic review and meta-analysis, *J. Dent.* 103 (2020) 103499. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103499>.
- [25] J. Martín, N. Ovies, P. Cisternas, E. Fernández, O.B. Oliveira Junior, M.F. De Andrade, G. Moncada, P. Vildósola, Can an LED-laser hybrid light help to decrease hydrogen peroxide concentration while maintaining effectiveness in teeth bleaching?, *Laser Phys.* 25 (2015) 1–5. <https://doi.org/10.1088/1054-660X/25/2/025608>.
- [26] J. Martín, P. Vildósola, C. Bersezio, A. Herrera, J. Bortolatto, J.R.C. Saad, O.B. Oliveira, E. Fernández, Effectiveness of 6% hydrogen peroxide concentration for tooth bleaching - A double-blind, randomized clinical trial, *J. Dent.* 43 (2015) 965–972. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.011>.
- [27] J.L. de S.G. Costa, J.F. Besegato, J.F. Zaniboni, L.D. Galvani, M.C. Kuga, Effects of tooth bleaching protocols with violet LED and hydrogen peroxide on enamel properties, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 38 (2022) 102733. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102733>.
- [28] M. Pita, J. Halámek, S. Chinnapareddy, D.J. White, V. Gartstein, E. Katz, Permeability of Human Tooth Surfaces Studied In Vitro by Electrochemical Impedance Spectroscopy, *Electroanalysis.* 24 (2012) 1033–1038. <https://doi.org/10.1002/elan.201100726>.
- [29] K. Luk, L. Tam, M. Hubert, Effect of light energy on peroxide tooth bleaching, *J. Am. Dent. Assoc.* 135 (2004) 194–201. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2004.0151>.

- [30] V. Cavalli, M. Kury, P.B.G. Melo, R.V.T.S.M. Carneiro, F.L.E. Florez, Current Status and Future Perspectives of In-office Tooth Bleaching, *Front. Dent. Med.* 3 (2022) 1–5. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2022.912857>.
- [31] S.C. Loretto, M.R. Libdy, F. do S. da R. Ribeiro, E.M.F. Braga, K.G.K. Carneiro, M.H. Silva e Souza Júnior, Influence of whitening gel on pulp chamber temperature rise by in-office bleaching technique, *Rev. Odontol. Da UNESP.* 42 (2013) 432–438. <https://doi.org/10.1590/s1807-25772013000600007>.
- [32] M. Cuppini, V.C.B. Leitune, M. De Souza, A.K. Alves, S.M.W. Samuel, F.M. Collares, In vitro evaluation of visible light-activated titanium dioxide photocatalysis for in-office dental bleaching, *Dent. Mater. J.* 38 (2019) 68–74. <https://doi.org/10.4012/dmj.2017-199>.
- [33] C.R.G. Torres, E. Crastechini, F.A. Feitosa, C.R. Pucci, A.B. Borges, Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening, *Oper. Dent.* 39 (2014) E261–E268. <https://doi.org/10.2341/13-214-L>.
- [34] H. Frysh, W.H. Bowles, F. Baker, F. Rivera-Hidalgo, G. Guillen, Effect of pH on Hydrogen Peroxide Bleaching Agents, *J. Esthet. Restor. Dent.* 7 (1995) 130–133. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1995.tb00730.x>.
- [35] R.A. de O. Ribeiro, V. Peruchi, L. de O. Fernandes, C. Anselmi, I.P.M. Soares, J. Hebling, C.A. de S. Costa, The influence of violet LED application time on the esthetic efficacy and cytotoxicity of a 35% H₂O₂ bleaching gel, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 40 (2022) 103069. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103069>.
- [36] T.C. Trevisan, J.F. Bortolatto, G. Rizzi, B.T. Meloto, A.A.R. Dantas, O.B. de Oliveira Junior, Clinical performance of 6% hydrogen peroxide containing TiO₂N nanoparticles activated by LED in varying wavelengths—a randomized clinical trial, *Lasers Med. Sci.* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03464-1>.
- [37] V. Hugo Panhoca, B.P. de Oliveira, A.N. Souza Rastelli, V. Salvador Bagnato, Dental Bleaching Using Violet Light Alone: Clinical Case Report, *Dentistry.* 7 (2017). <https://doi.org/10.4172/2161-1122.1000459>.
- [38] A.D.N. Lago, W.D.R. Ferreira, G.S. Furtado, Dental bleaching with the use of violet light only: Reality or Future?, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 17 (2017) 124–126. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.11.014>.

- [39] M. Kury, E.E. Wada, D.P. da Silva, C. Pereira Machado Tabchoury, M. Giannini, V. Cavalli, Effect of violet LED light on in-office bleaching protocols: a randomized controlled clinical trial, *J. Appl. Oral Sci.* 28 (2020) 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101848>.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os presentes estudos experimentais in vitro foi possível caracterizar a evolução temporal do pH, EDP e temperature de diversos protocolos clareadores em níveis diferentes de variáveis. Tendo em vista que a composição dos géis é semelhante, foi observado em todos os estudos que quanto maior a concentração de peróxido de hidrogênio, menor o pH. Além disso, o pH dos géis apresentam correlações fortes e negativas com a EDP, sendo caracterizado o HP35 o gel com maior potencial elétrico nos testes.

Outra observação interessante é acerca da utilização de LED/laser no gel. Foi observado que os géis sem a presença de luz não apresentaram grandes alterações na cinética de temperatura, enquanto a presença de luz aumentou significativamente a temperatura dos géis e isso influencia na alteração da cinética química de pH e EDP dos mesmos. Além disso, foi verificado ainda que os géis laranja (HP35) e vermelho (HP15) apresentaram maior aumento de temperatura na presença do LED no comprimento de onda violeta do que o gel amarelo (HP6).

Por fim, na presença de substratos dentários, o manchamento por chá preto não interferiu na cinética de pH, EDP e temperatura, independente da presença de LED/laser sob os protocolos de clareamento. Ademais, o aumento de temperatura gerado pelo LED/laser em HP6 não foi o suficiente para alterar a cinética química do gel, enquanto que foi notável a mudança nas cinéticas de HP35 e HP15.

Os presente estudos buscaram trazer novas interpretações acerca da cinética química do clareamento dental. De acordo com os resultados, levanta-se uma hipótese na qual a variação de potencial elétrico do gel pode vir a interferir numa possível sensibilidade no clareamento dental.

REFERÊNCIAS*

1. Kwon SR, Wertz PW. Review of the mechanism of tooth whitening. *J Esthet Restor Dent*. 2015; 27(5): 240–57.
2. Alqahtani MQ. Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: a literature review. *Saudi Dent J*. 2014; 26(2): 33–46.
3. Sulieman MAM. An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy. *Periodontol 2000*. 2008; 48(1): 148–69.
4. Ubaldini ALM, Baesso ML, Medina Neto A, Sato F, Bento AC, Pascotto RC. Hydrogen peroxide diffusion dynamics in dental tissues. *J Dent Res*. 2013; 92(7): 661–5.
5. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully Cbe C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J*. 2006; 200(7): 371–6.
6. de Geus J, Wambier L, Kossatz S, Loguercio A, Reis A. At-home vs In-office Bleaching: a systematic review and meta-analysis. *Oper Dent*. 2016; 41(4): 341–56.
7. Gökcay O, Yilmaz F, Akin S, Tunçbilek M, Ertan R. Penetration of the pulp chamber by bleaching agents in teeth restored with various restorative materials. *J Endod*. 2000; 26(2): 92–4.
8. Trentino AC, Soares AF, Duarte MAH, Ishikiriama SK, Mondelli RFL. Evaluation of pH levels and surface roughness after bleaching and abrasion tests of eight commercial products. *Photomed Laser Surg*. 2015; 33(7): 372–7.
9. Xu B, Li Q, Wang Y. Effects of pH Values of hydrogen peroxide bleaching agents on enamel surface properties. *Oper Dent*. 2011; 36(5): 554–62.
10. Martindale JL, Holbrook NJ. Cellular response to oxidative stress: signaling for suicide and survival. *J Cell Physiol*. 2002; 192(1): 1–15.
11. Costa CAS, Riehl H, Kina JF, Sacono NT, Hebling J. Human pulp responses to in-office tooth bleaching. *J Esthet Restor Dent*. 2010; 26(5): e59–64.
12. Soares DG, Gonçalves Basso F, Hebling J, De Souza Costa CA. Effect of hydrogen-peroxide-mediated oxidative stress on human dental pulp cells. *J Dent*. 2015; 43(6): 750–6.
13. Markowitz K. Pretty painful: Why does tooth bleaching hurt? *Med Hypotheses*. 2010; 74(5): 835–40.
14. Moosavi H, Arjmand N, Ahrari F, Zakeri M, Maleknejad F. Effect of low-level laser therapy on tooth sensitivity induced by in-office bleaching. *Lasers Med Sci*. 2016; 31(4): 713–9.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

15. Maran BM, Matos T de P, de Castro A dos S, Vochikovski L, Amadori AL, Loguercio AD et al. In-office bleaching with low/medium vs. high concentrate hydrogen peroxide: a systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2020 Dec; 103: 103499.
16. Wijetunga CL, Otsuki M, Hiraishi N, Luong MN, Tagami J. Effect of pH of bleaching agent on tooth bleaching action in vitro. *Dent Mater J*. 2021; 40(3): 566-72
17. Brännström M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome. *J Endod*. 1986; 12(10): 453–7.
18. Trowbridge HO. Review of dental pain. *J Endod*. 1986; 12(10): 445–52.
19. Haywood VB. Treating sensitivity during tooth whitening. *Compend Contin Educ Dent*. 2005; 26(9 Suppl.3): 11–20.
20. Costa JL de SG, Nogueira BR, Junior OBDO, Pretel H. Association of microabrasion and tooth whitening with LED / laser system in the treatment of incisor hypomineralization : 3-year follow-up. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2021 Mar; 33: 2020–2.
21. Bortolatto JF, Pretel H, Floros MC, Luiz ACC, Dantas AAR, Fernandez E et al. Low concentration H₂O₂/TiO₂ in office bleaching: a randomized clinical trial. *J Dent Res*. 2014; 93(7 suppl): 66S-71S.
22. Bortolatto JF, Trevisan TC, Bernardi PSI, Fernandez E, Dovigo LN, Loguercio AD et al. A novel approach for in-office tooth bleaching with 6 % H₂O₂/TiO₂ and LED/laser system—a controlled, triple-blinded, randomized clinical trial. *Lasers Med Sci*. 2016; 31(3): 437–44.
23. Torres CRG, Crastechini E, Feitosa FA, Pucci CR, Borges AB. Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening. *Oper Dent*. 2014; 39(6): E261–8.
24. Grazioli G, Valente LL, Isolan CP, Pinheiro HA, Duarte CG, Münchow EA. Bleaching and enamel surface interactions resulting from the use of highly-concentrated bleaching gels. *Arch Oral Biol*. 2018 Mar; 87: 157–62.
25. Soares AF, Bombonatti JFS, Alencar MS, Consolmagno EC, Honório HM, Mondelli RFL. Influence of pH, bleaching agents, and acid etching on surface wear of bovine enamel. *J Appl Oral Sci*. 2016; 24(1): 24–30.
26. de Freitas PM, Menezes AN, da Mota ACC, Simões A, Mendes FM, Lago ADN et al. Does the hybrid light source (LED/laser) influence temperature variation on the enamel surface during 35% hydrogen peroxide bleaching? a randomized clinical trial. *Quintessence Int*. 2016; 47(1): 61–73.
27. Mondelli RFL, Soares AF, Gabriel E, Pangrazio K, Wang L, Ishikiriama K et al. Evaluation of temperature increase during in-office bleaching. *J Appl Oral Sci*. 2016; 24(2): 136–41.
28. Buchalla W, Attin T. External bleaching therapy with activation by heat, light or laser: a systematic review. *Dent Mater*. 2007; 23(5): 586–96.
29. Alshammery S. Evaluation of light activation on in-office dental bleaching: a systematic review. *J Contemp Dent Pract*. 2019; 20(11): 1355–60.

30. Jozef R, Moor G De, Verheyen J, Diachuk A, Verheyen P, Meire MA et al. Insight in the chemistry of laser-activated dental bleaching. *Sci World J*. 2015; 2015: 1–5.
31. Pretel H, Costa JLSG, Florez FLE, Nogueira BR, Oliveira Junior O. Assessment of the temporal variation of electrical potential and pH of different bleaching agents. *Heliyon*. 2021; 7(11): 1–5.
32. Clay JR. Axonal excitability revisited. *Prog Biophys Mol Biol*. 2005; 88(1): 59–90.
33. Bean BP. The action potential in mammalian central neurons. *Nat Rev Neurosci*. 2007; 8(6): 451–65.
34. Hodgkin A., Huxley AF. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J Physiol*. 1952; 117: 500–44.
35. Frysh H, Bowles WH, Baker F, Rivera-Hidalgo F, Guillen G. Effect of pH on Hydrogen peroxide bleaching agents. *J Esthet Restor Dent*. 1995; 7(3): 130–3.
36. Sari T, Celik G, Usumez A. Temperature rise in pulp and gel during laser-activated bleaching: in vitro. *Lasers Med Sci*. 2015; 30(2) :577–82.
37. Mondelli RFL, Rizzante FAP, Rosa ER, Borges AFS, Furuse AY, Bombonatti JFS. Effectiveness of LED/Laser irradiation on in-office dental bleaching after three years. *Oper Dent*. 2018; 43(1): 31–7.

ANEXO A – DIREITOS DE PUBLICAÇÃO

 ELSEVIER

[Sobre a Elsevier](#) [Produtos e soluções](#) [Serviços](#) [Compre e descubra](#)

Procurar 

[Compartilhamento](#) [Hospedagem](#) [Observância](#)

Um autor pode auto-arquivar (ou seja, compartilhar seu manuscrito aceito) em seu repositório institucional? –

Sim. Eliminamos a necessidade de uma instituição ter um acordo conosco antes que qualquer postagem sistemática possa ocorrer em seu repositório institucional. Os autores podem compartilhar manuscritos aceitos imediatamente em seus sites e blogs pessoais, e também podem arquivar imediatamente em seu repositório institucional. Também permitimos que os repositórios usem esses manuscritos aceitos imediatamente para [uso interno](#) e para suporte ao compartilhamento privado. Após [o término do período de embargo](#), os manuscritos também podem ser compartilhados publicamente.

ANEXO B – APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA

— DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da variação do potencial elétrico e pH de diferentes protocolos clareadores

Pesquisador Responsável: HERMES PRETEL

Área Temática:

Versão: 6

CAAE: 29383620.6.0000.5416

Submetido em: 03/05/2022

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

Situação da Versão do Projeto: Aprovado

Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_191036

— LISTA DE PESQUISADORES DO PROJETO

CPF/Documento	Nome	Atribuição	E-mail	Curriculo	Tipo de Análise	Ação
081.343.928-06	Osmir Batista de Oliveira Junior	Equipe do Projeto	osmir.oliveira@unesp.br	Lattes CV	PROPONENTE	
007.759.414-25	Joatan	Assistente da Pesquisa, Contato Público, Equipe do Projeto	joatangcosta@gmail.com	Lattes CV	PROPONENTE	
255.796.468-95	HERMES PRETEL	Contato Científico, Pesquisador principal	hpretel@hotmail.com	Lattes CV	PROPONENTE	

Não autorizo a publicação deste trabalho pelo prazo de 2 anos.

(Direitos de publicação reservado ao autor)

Araraquara, 13 de dezembro de 2022.

Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa