

Fernando Luis Esteban Florez

---

# INVESTIGAÇÃO DA QUEBRA DE PIGMENTOS POR LUZ



**ORIENTADOR: PROF. DR. OSMIR BATISTA DE OLIVEIRA JÚNIOR**

Fernando Luis Esteban Florez

---

# INVESTIGAÇÃO DA QUEBRA DE PIGMENTOS POR LUZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Odontológicas - Área de Dentística Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre, em Dentística Restauradora.

Orientador: Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Júnior

ARARAQUARA

2009

FERNANDO LUIS ESTEBAN FLOREZ

**INVESTIGAÇÃO DA QUEBRA DE PIGMENTOS POR LUZ**

COMISSÃO JULGADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Presidente e Orientador - Prof.Dr. Osmir Batista de Oliveira Junior

2º Examinador – Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato

3º Examinador – Prof. Dr. Carlos Eduardo Francci

Araraquara, 16 de fevereiro de 2009.

## CURRÍCULO

### **FILIAÇÃO:**

Francisco Esteban Gallego

Maria De La Cruz Florez Esteban

### **NASCIMENTO**

12/01/1978 São Paulo - SP

### **1999 – 2002**

Graduação em Odontologia pela Universidade de Marília – Unimar

### **2003 – 2006**

Pesquisador colaborador do Instituto de Física de São Carlos

### **2007 – 2009**

Curso de Pós-Graduação em Dentística Restauradora – Nível de Mestrado –  
Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista –  
UNESP / SP

Dedico este trabalho aos **MEUS PAIS** que sempre foram para mim motivo de orgulho, exemplo de dedicação, de persistência, e de retidão nas atitudes

Agradeço a você **MEU PAI** e a você **MINHA MÃE** por terem forjado o meu caráter, por **SEMPRE** me incentivar e me ajudar a vencer cada obstáculo em minha vida.

**AMO VOCÊS!!!!!!!!!!!!!!**

Ao **MEU IRMÃO** que sempre foi uma referência em minha vida, que abriu diversos caminhos e que sempre esteve por mim.

À **MINHA CUNHADA** por amar, respeitar e entender a minha família de forma incondicional.

À **ISABELA** que com sua irreverência e personalidade ilumina nossas vidas como um raio de sol que principia o dia.

À **JULIANA** que o destino colocou em meu caminho para mudar completamente a minha vida!!!!!!!

Ao MESTRE Vanderlei Salvador Bagnato que me abriu os olhos e me fez acreditar que era possível. Agradeço sempre a firmeza e honestidade de suas palavras, sem elas a nossa contribuição à ciência não teria o mesmo brilho e valor.

Ao **AMIGO E IRMÃO** Vanderlei Bagnato que sempre me incentivou a empreender, que mudou a minha vida pela simples convivência e me tornou alguém melhor através de seus exemplos. Agradeço a paciência, a compreensão e a amizade.

T.'F.'A.'.

Ao **MEU ORIENTADOR** Prof. Osmir Batista de Oliveira Júnior que foi fundamental na idealização, realização e conclusão deste trabalho. Obrigado por construir comigo este tijolo na torre do conhecimento, obrigado pelo exemplo pessoal e profissional.

Ao **AMIGO E COMPANHEIRO** Osmir pela sinceridade e honestidade. Agradeço por todos os ótimos momentos de convivência durante as viagens que fizemos.

**Aos PROFESSORES E AMIGOS Marcelo Ferrarezi de Andrade e José Roberto Cury Saad que muito contribuíram para a minha formação com as disciplinas ministradas, os conselhos e orientações durante os laboratórios de ensino.**

**Obrigado por sempre me ajudar a me aperfeiçoar**

**À todos os funcionários, técnicos e auxiliares do Departamento de Dentística Restauradora que muito contribuíram para manter a estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.**

Aos meus **GRANDES AMIGOS** Augusto e Emery por muitas noites de trabalho, pela força nos momentos difíceis e pela contribuição imensa na realização deste trabalho.

Amigos, sem vocês não teria conseguido!!!!!!OBRIGADO!!!!!!

**À todos os meus colegas do Laboratório de Biofotônica da Universidade de São Paulo o meu MUITO OBRIGADO, sem essa convivência rica acho que o trabalho perderia metade de seu brilho.**

## Sumário

<b>RESUMO .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>43</b>
<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

Esteban Florez FL. Investigação da Quebra de Pigmentos por Luz, [dissertação de mestrado] Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2009.

## RESUMO

O clareamento dental é uma técnica que surgiu no início do século XIX. Desde então, e em função dos resultados obtidos ao longo do tempo, esta foi sendo alterada de maneira a reduzir os riscos do procedimento e ao mesmo tempo melhorar o resultado estético obtido. Com o aparecimento das fontes de luz para uso odontológico, novas e interessantes possibilidades surgiram e permitiram a utilização de métodos de aceleração que respeitem a fisiologia pulpar, que diminuam o tempo de exposição do paciente aos agentes peróxidos e promovam ainda a obtenção de bons resultados estéticos. Nos dias de hoje, pode-se observar na literatura importantes questionamentos acerca da contribuição efetiva da luz visível no processo e, os efeitos dos agentes peróxidos nas estruturas cristalinas dos dentes, materiais restauradores em geral e tecidos moles. Estas preocupações foram o cerne da motivação para a realização desta pesquisa, sendo assim, este trabalho vem propor uma série de metodologias inovadoras que avaliem através de tecnologias modernas os mecanismos básicos de interação da luz visível com o peróxido de hidrogênio e com os pigmentos orgânicos. Os experimentos aqui demonstrados abordam os fatores críticos relacionados com a eficiência do processo em diferentes substratos por meio de análise de transmitância, de fluorescência e imagens digitais. Com estes estudos pretendemos responder de maneira objetiva algumas das questões que foram observadas serem de fundamental importância no esclarecimento da real eficiência e eficácia da luz no clareamento dental.

**Palavras chave:** Clareamento de dente; lasers; espectrofotometria de fluorescência; fotoquímica; estética dentária.

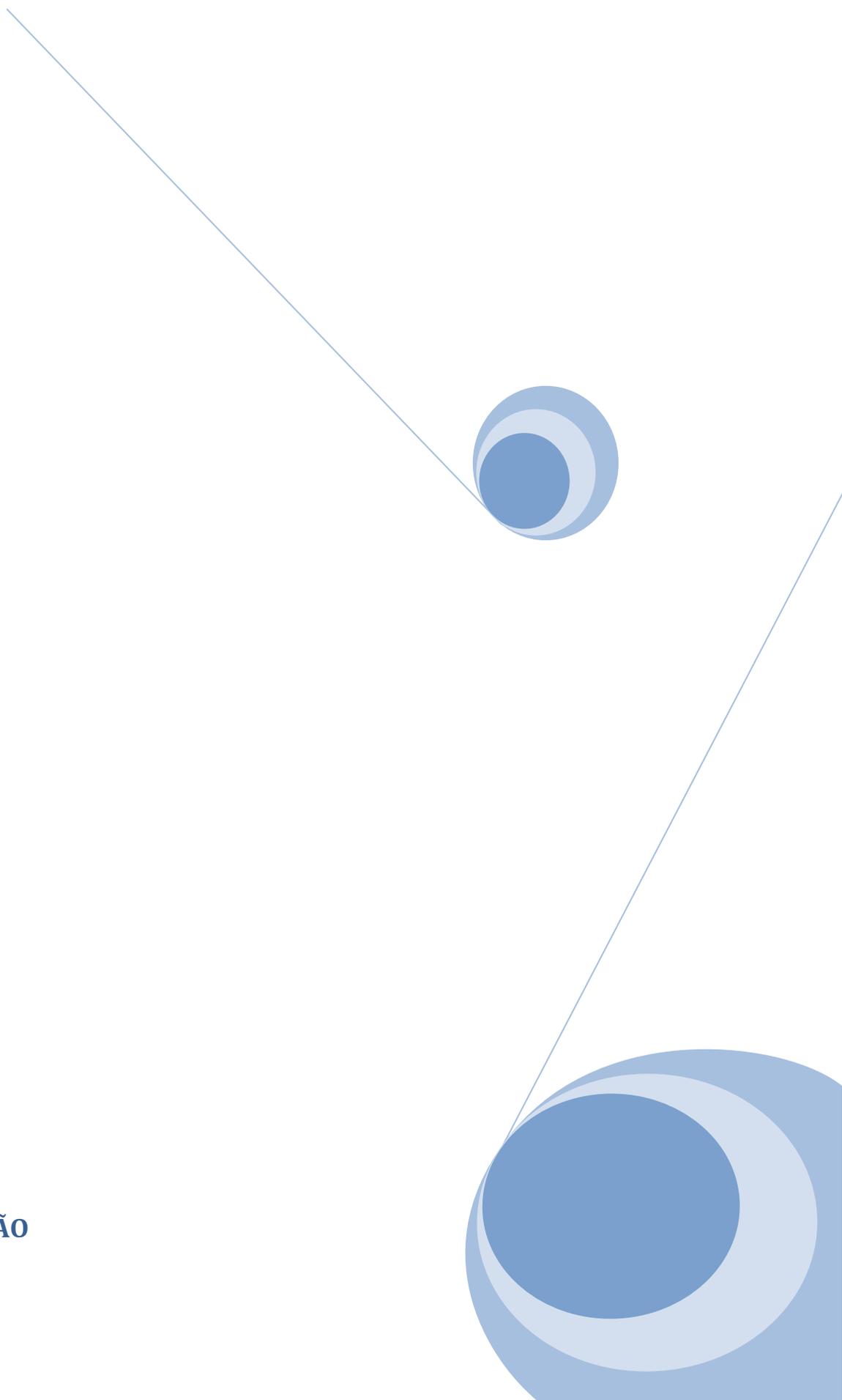
Esteban Florez FL. Investigation of the Breakage of Pigments by Light [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia; 2009.

## **ABSTRACT**

The dental bleaching is a technique that appeared in the beginning of the XIX century. Since then, and in function of the obtained results a long the time, this has been altered in way to reduce the procedure risks and at the same time improve the aesthetic results. With the rise of light sources to be used in dentistry, new and exciting possibilities appeared and allowed the use of catalytic methods that respect the pulpal physiology, which diminishes the exposure time of the patients to the bleaching agents and provides good aesthetic results. In nowadays, it is possible to observe in the literature important questionings over the real contribution of light in the process and, the effects of the peroxide over the crystalline structure of the teeth, restorative materials and soft tissues. These concerning were the major motivation to the realization of this research, in this way, this work proposes a new series of methods that asses by the use of new technologies the basic mechanisms of visible light interaction with the hydrogen peroxide and with the organic pigments. The experiments here demonstrated study the critical factors related with the process efficiency in different substrates by digital images, transmittance and fluorescence. With these studies we pretend to respond in objective way some questions that were observed to be of fundamental importance in the understanding of the light efficiency and efficacy to the dental bleaching.

Key words: Dental bleaching; lasers; fluorescence spectroscopy; photochemistry; dental aesthetics.

## INTRODUÇÃO



## INTRODUÇÃO

A estética é um requisito básico na sociabilidade do indivíduo, pois a primeira impressão determina a opinião e o julgamento que teremos em nossas relações pessoais e profissionais<sup>62</sup>. Os atuais recursos estético/cosméticos e a maior difusão na mídia desencadearam uma busca constante pelos padrões de perfeição, beleza e atratividade. Neste contexto, a estética dental, condicionada por dentes brancos, brilhantes, bem posicionados e harmonicamente distribuídos; aumenta a necessidade do desenvolvimento de materiais e técnicas que devolvam de forma eficaz, tanto a funcionalidade dos elementos dentais, como restabeleçam a estética original e criem sorrisos mais atraentes e belos.

Dentre as técnicas cosméticas atualmente disponíveis, o clareamento dental ocupa uma posição de destaque por causar baixo nível de desconforto<sup>35</sup>, ser rápido<sup>60</sup>, de custo acessível e, principalmente, por promover significativa melhora no aspecto estético dos dentes e na auto-estima do paciente<sup>62</sup>. Por não interferir com as características anatômicas dos dentes, condicionar níveis de alteração estrutural microscópicos<sup>6</sup>, e ser biologicamente bem aceito pelos tecidos dentais<sup>17,18</sup>, este tratamento pode ser classificado como minimamente invasivo ou ultraconservador.

Apesar disso, a técnica ainda apresenta, em alguns casos, efeitos colaterais/adversos que devem ser compensados. Novos produtos, técnicas e equipamentos têm sido constantemente desenvolvidos na busca de procedimentos que resultem em resultados estéticos imediatos e duráveis, menor tempo de exposição do paciente aos agentes oxidantes e redução significativa da sensibilidade trans e pós-operatória.

Os primeiros relatos sobre clareamento dental datam do início do século XIX (1807)<sup>1</sup>. Nesta época, os tipos de agentes oxidantes utilizados, suas concentrações, modos de aplicação e indicações eram determinados de forma empírica, embasado, muitas vezes, somente em observações pessoais ou crenças

populares, sem nenhum respaldo científico<sup>30</sup>. Inicialmente foram utilizados o ácido acético<sup>3</sup>, o ácido oxálico<sup>2,7</sup>, soluções e compostos a base de cloro<sup>4,30,56</sup>, peróxido de sódio<sup>42</sup>, hipoclorito de sódio<sup>43</sup> e éter peróxido a 25% (pirozone)<sup>3,19</sup>.

A primeira descrição da utilização do peróxido de hidrogênio para clarear dentes foi realizada por Harlan em 1884<sup>30</sup>. Em 1918 Abbot descreveu a utilização de uma técnica que utilizava concentrações em torno de 30% de peróxido de hidrogênio<sup>51</sup>. Em 1924 Prinz<sup>53</sup> recomendou à utilização de soluções a base de perborato de sódio e peróxido de hidrogênio aquecidas para realizar a limpeza de câmaras pulpares<sup>1</sup>. Em 1937, Ames<sup>1</sup> preconizou a utilização de uma técnica para clarear dentes vitalizados manchados com fluorose, onde o agente clareador era composto por 5 partes de peróxido de hidrogênio a 30% para uma parte de éter, associados a uma fonte de calor para acelerar a reação de liberação do oxigênio<sup>53</sup>.

Neste primeiro período do desenvolvimento da técnica, alguns autores propuseram a utilização de fontes de luz<sup>11,43</sup>, de calor<sup>12,34,41</sup> e de correntes elétricas<sup>53,72</sup> aplicadas diretamente sobre os dentes como forma de acelerar e potencializar a reação de clareamento. Estas técnicas elevavam de forma rápida e intensa a temperatura dos elementos dentais tratados, gerando grande desconforto pós-operatório e, muitas vezes, injúrias irreversíveis ao complexo dentino pulpar<sup>30</sup> e danos ao periodonto circundante. Na década de 60 surgiu a técnica de clareamento dental caseiro. Esta foi proposta a partir das observações do Dr. Bill Klusmier, um ortodontista que prescrevia anti-séptico bucal à base de peróxido de carbamida a 10% (gly-oxide) para os pacientes que apresentavam quadros de gengivite. Em 1989, Haywood e Haymann<sup>31</sup> fizeram a primeira descrição científica de uma técnica denominada clareamento dental noturno com moldeira, que deu as bases para o desenvolvimento da moderna técnica de clareamento dental caseiro.

Apesar de ser largamente utilizada, muitos pacientes abandonam a seqüência de aplicação antes da sua conclusão por razões como: ansiedade na obtenção dos resultados, desconforto devido ao uso das moldeiras, gosto

desagradável, irritação gengival por contato prolongado com o agente clareador, irritação gástrica por deglutição do peróxido e altos níveis de sensibilidade dentinária em função do grau de desidratação e da elevada taxa de reações de oxido redução condicionadas pela técnica<sup>31,48</sup>.

Paralelamente ao desenvolvimento da técnica caseira, novos procedimentos foram propostos para o clareamento dental de consultório. Com o advento da utilização dos aparelhos de luz visível para fotopolimerização<sup>46</sup> das resinas compostas e o desenvolvimento dos Lasers, das lâmpadas de alta intensidade (arco de plasma, xenônio, etc.) e mais modernamente dos LEDS odontológicos, novas possibilidades e equipamentos para a aceleração física do processo de clareamento foram instituídas.

As reações químicas do peróxido de hidrogênio têm as suas velocidades de decomposição duplicadas quando um aumento de temperatura da ordem de 10°C é imposto ao sistema onde a reação ocorre, com uma significativa liberação de radicais hidroxilas pelo processo de aceleração térmica como evidenciado pela equação:  $\text{H}_2\text{O}_2 + 211 \text{ KJ/mol} \rightarrow 2\text{HO}^*$ <sup>21, 34, 36,57</sup>. Muito embora esta aceleração seja interessante do ponto de vista técnico, ela tem recebido críticas ao longo dos anos em função da possibilidade de danos pulpares irreversíveis<sup>28</sup>.

Zach e Cohen em 1965<sup>70</sup> estabeleceram que um aumento de 5,5°C na temperatura intra-pulpar causa danos irreversíveis a este tecido, o que indica que a recomendação do uso de calor como agente de aceleração da decomposição do peróxido deve ser realizada de forma criteriosa

Esta possibilidade levou ao desenvolvimento das técnicas de aceleração do clareamento de consultório baseadas na utilização de luz fria – LED, e ao desenvolvimento de formulações de materiais que pudessem absorver e neutralizar a energia luminosa e térmica utilizada, a fim de proteger o elemento dental.

A utilização de equipamentos LED especialmente desenvolvidos para clareamento ao invés de fotopolimerizadores, refletores e luzes de fisioterapia

oferece, como principal vantagem, maior controle da temperatura gerada e, conseqüentemente, maior segurança técnica. Da mesma forma, a cor do gel clareador tem como principal função proteger a estrutura dental do aumento de temperatura excessivo. A utilização de um gel pigmentado de vermelho, vermelho-alaranjado ou verde, associado a fontes de luz visível azul (halógenas/arco de plasma ou LEDS) fundamenta-se num modelo de transformação de energia; no qual a energia luminosa incidente é absorvida pelos pigmentos contidos no agente clareador, o que gera aquecimento do gel devido à grande absorção de energia e o aumento da vibração molecular que, por sua vez, aumenta a taxa das reações químicas do peróxido na estrutura dental, acelerando desta forma o processo de clareamento<sup>23, 47</sup>.

Os primeiros relatos acerca da produção do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) datam de 1800 quando Thenard<sup>66</sup> apresentou para a academia de ciências de Paris um composto químico batizado de “ácido oxigenado”. Em julho de 1818 o peróxido de hidrogênio foi reconhecido como composto químico e, desde então sua produção vêm crescendo significativamente em função de suas inúmeras aplicações comerciais e industriais, sendo considerado um dos mais potentes e versáteis agentes oxidantes de que se tem notícia<sup>41</sup>.

Este agente químico tem capacidade para oxidar tanto compostos orgânicos quanto inorgânicos, apresenta reação espontânea a diferentes substâncias, liberando nestas reações O\* (oxigênio nascente) que é altamente reativo devido a sua instabilidade eletrônica. Esta característica química faz com que o oxigênio nascente reage com praticamente qualquer composto que esteja presente nas proximidades reduzindo-as por oxido-redução a moléculas menos complexas e conseqüentemente, menos cromatizadas, determinando o clareamento/branqueamento do elemento dental.

Apesar de o clareamento dental ser um fato clínico e cientificamente comprovado não se tem ainda total compreensão sobre a dinâmica desta reação química e seus efeitos sobre a estrutura dental, tanto que existem inúmeros e

contraditórios protocolos de aplicação. Da mesma forma, existem inúmeras dúvidas a respeito do real efeito da utilização dos equipamentos de fotoativação nas técnicas de clareamento dental, muito embora a utilização de um agente catalisador (luz, calor ou compostos metálicos) como acelerador/potencializador da reação química do peróxido, seja um fato químico cientificamente já estabelecido.

Provavelmente, parte desta controvérsia seja consequência das diferentes metodologias empregadas nos artigos científicos. A utilização de métodos não padronizados e subjetivos, bem como considerações realizadas a partir de relatos de casos clínicos, resultam em conclusões conflitantes e que não podem ser adequadamente comparadas.

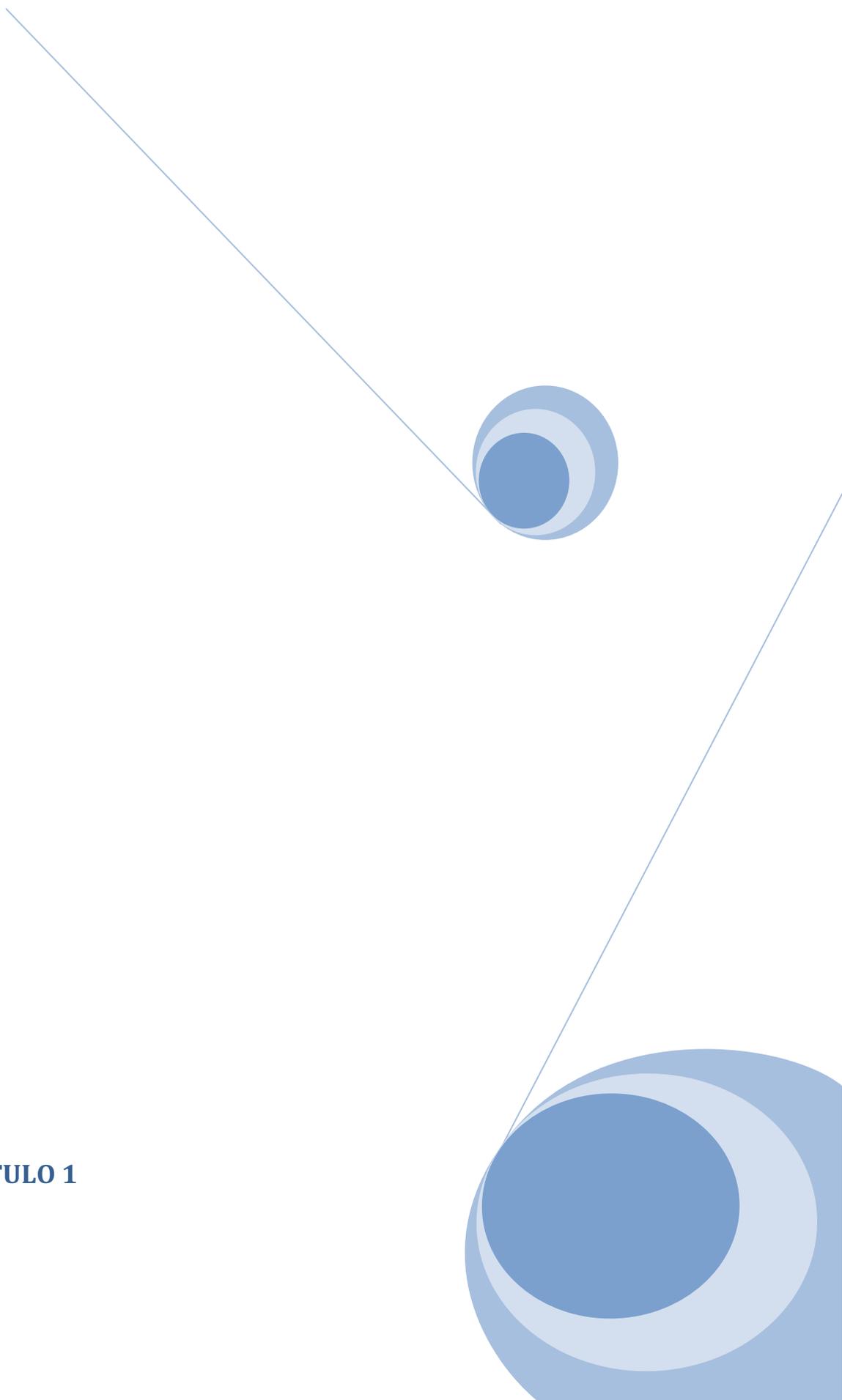
## **OBJETIVO GERAL**

Avaliar diferentes aspectos da catálise por luz do clareamento dental de consultório

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

1. Estudar a quebra de um pigmento orgânico em função de diferentes comprimentos de onda e métodos de análise.
2. Estabelecer o padrão de difusão do peróxido de hidrogênio em dente bovino por fluorescência
3. Avaliação da influência da pigmentação do gel clareador na distribuição da luz na estrutura dental.

# CAPÍTULO 1



Experimento 1 - Investigação da fotólise de pigmentos por método de transmitância e análise térmica em soluções pigmentadas: entendendo possíveis mecanismos e vantagens para o clareamento dental foto acelerado

---

*AUTORES*

Florez, F.L.E.<sup>1</sup>; Lins, E.C.C.<sup>1</sup>;Portero, P<sup>2</sup>.; Lizarelli, R.F.Z.<sup>1</sup>; Oliveira Junior, O.B.<sup>2</sup> and Bagnato, V.S.<sup>1</sup> **Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE**. 6425; 64250Y (2007). DOI: 10.1117/12.700517

1- Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo – Sp – Brasil.

2- Universidade Estadual Paulista – Unesp – Araraquara-Sp – Brasil.  
C.P.369/ CEP-13560-970

*ABSTRACT*

The dental bleaching is known for many years. Recently a technique employing light has open up new and exiting possibilities. Besides its vast application there are still many important points to be understood about teeth photo bleaching. In this work we present an “in vitro” experiment to explore the main mechanisms involved during the photon action in tooth whitening. Our results indicate that light at same wavelengths are great absorbed by pigments creating a molecular local heating which considerably increase the bleaching rate. This results in a fast reaction without heating the whole dental structure. We discuss details of our experiment. Work supported by Fapesp and CNPq.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas atuais de clareamento são baseados primeiramente na ação oxidante do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) ou em um dos seus precursores, como o peróxido de carbamida. O mecanismo principal é a quebra das duplas ligações conjugadas presentes nos cromóforos intimamente relacionados com a estrutura cristalina dos dentes. Este procedimento normalmente é usado em conjunto com fontes catalisadoras como calor e/ou luz (UV, luz visível e infravermelho). Tais agentes podem ser aplicados nas superfícies externas dos dentes ou internamente no interior da câmara pulpar (clareamento de dentes não vitais)<sup>1</sup>.

Muitas tentativas foram realizadas no intuito de se acelerar a eficiência do clareamento dental desde a descoberta da ação clareadora do peróxido de hidrogênio na estrutura cristalina dos dentes. No início, a catálise era realizada com a utilização de um instrumento metálico aquecido posicionado em contato com as superfícies vestibulares umedecidas com peróxido de hidrogênio, mas os relatos de hipersensibilidade devido ao excesso de calor obrigaram os pesquisadores a encontrar alternativas para catalisar a reação química.

O gel de peróxido de carbamida que é utilizado como clareamento caseiro<sup>2, 3</sup> foi primeiramente usado como anti-séptico bucal, mas devido aos efeitos colaterais apresentados nos tecidos moles e duros bem como o potencial carcinogênico aos tecidos moles tornou o uso desta técnica um tanto quanto controversa<sup>4</sup>.

Preocupações têm sido demonstradas sobre potencial de efeitos colaterais do uso do peróxido de hidrogênio em agentes clareadores dentais. Os efeitos colaterais relatados em estudos com culturas de células, animais e humanos incluem: reabsorção radicular associada ao clareamento dental não vital; aumento da sensibilidade associada ao clareamento de dentes vitais; alterações na topografia da superfície de esmalte; redução da força de união dos materiais compósitos e a possibilidade de efeitos carcinogênicos do peróxido de hidrogênio.

Com o intuito de reduzir o tempo de exposição dos pacientes aos agentes peróxidos, bem como, reduzir os efeitos colaterais deste tipo de tratamento, o uso de fontes de luz para promover a catálise da reação química no clareamento dental começou com a utilização das lâmpadas halógenas, os resultados estéticos eram bastante satisfatórios, mas o grande calor gerado por tal fonte de luz causava altos índices de hipersensibilidade dentinária.

A evolução das fontes de luz permitiu a utilização do LASER de média potência (Argônio, Diodo e Nd:YAG); nesta época acreditava-se que a monocromaticidade era responsável pela aceleração da reação devido a uma catálise fotônica, contudo, estes equipamentos ainda geram muito calor devido à colimação do feixe e o comprimento de onda utilizado, em adição altos níveis de hipersensibilidade eram ainda relatados.

É bem estabelecido que a quebra de moléculas pigmentadas pode ser otimizada na presença de calor<sup>12</sup>. Em outra direção, é conhecido que o grande aquecimento da estrutura dental promove diferentes tipos de injúrias aos tecidos pulpares. Idealmente, seria interessante a utilização de um sistema que aumentasse a velocidade da reação através da transferência de calor para as moléculas pigmentadas localizadas na estrutura cristalina sem causar um aquecimento da estrutura como um todo

Com o aparecimento e utilização das fontes a base de LEDs para os procedimentos de clareamento dental, o procedimento se tornou mais rápido e mais seguro e com baixos níveis de sensibilidade pós-operatória; Estas fontes de luz emitem em uma banda estreita e são capazes de otimizar a taxa da reação química na ordem de 10 vezes através de uma catalise fotônica, diminuindo com isso, a exposição da estrutura dental ao peróxido de hidrogênio.

Os relatos de hipersensibilidade pós-operatória quando da utilização das fontes de luz a base de LEDs devem estar mais relacionados com a ação citotóxica deste agente oxidante do que com o aquecimento da estrutura; o aparecimento das novas fontes de luz no mercado veio a preencher todas as necessidades para se estabelecer um procedimento mais seguro e controlado, que apresenta baixo tempo de exposição da estrutura cristalina ao peróxido de

hidrogênio, bons resultados estéticos e ainda baixos níveis de hipersensibilidade pós-operatória. No entanto, a melhora da reação química por meio da utilização destas fontes de luz – catalise fotônica- ainda é controversa e obscura; este trabalho apresenta um método “in vitro” que investiga estes mecanismos através da interação da luz com as moléculas pigmentadas. As comparações dos nossos resultados acerca da quebra de pigmentos em solução na presença ou ausência de luz nos permitem propor o mecanismo envolvido na foto-aceleração do clareamento dental.

### *MATERIAL E MÉTODO*

Este trabalho consiste na investigação do processo de quebra de um pigmento orgânico em solução aquosa através da quantificação do coeficiente de absorção de um feixe de luz visível em função do comprimento de onda utilizado e da evolução do processo de desagregação molecular imposto pelo agente oxidante de escolha durante um tempo pré-determinado.

O pigmento utilizado foi uma solução de café altamente concentrada (600ml de água para 55 gramas de pó de café) que absorvia intensamente os comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético. Esta solução foi dividida em 12 amostras independentes de 0,8ml que foram acondicionadas em frascos plásticos pretos afim de manter as características iniciais de sua concentração e cor. Na seqüência estas foram aleatoriamente divididas em quatro grupos distintos (n=3) em função das condições e regimes de iluminação impostos para cada situação como descrito no Quadro 1.

Quadro1. Descrição da distribuição dos grupos.

<b>DESCRIÇÃO DOS GRUPOS EXPERIMENTAIS</b>			
<b>GRUPOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>EQUIPAMENTOS UTILIZADOS</b>	<b>PRESENÇA DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO</b>	<b>TEMPO TOTAL DE IRRADIAÇÃO</b>
<b>GRUPO – 1</b>	<b>LUZ LED 455nm</b>	<b>+</b>	<b>20hs</b>
<b>GRUPO – 2</b>	<b>LUZ LED 936nm</b>	<b>+</b>	<b>20hs</b>
<b>GRUPO – 3</b>	<b>AUSÊNCIA DE LUZ</b>	<b>+</b>	<b>20hs</b>
<b>GRUPO – 4</b>	<b>LUZ LED 455nm</b>	<b>-</b>	<b>20hs</b>

Dois sistemas de LED foram utilizados como agentes físicos de catálise. O primeiro sistema emitia em um comprimento de onda de 455nm e o segundo sistema utilizado emitia em 936nm  $\pm$  15nm com intensidade de potência sobre a amostra de 130mW/cm<sup>2</sup>.

A análise térmica de todo o experimento foi realizada com o auxílio de um termistor de precisão calibrado cuidadosamente posicionado no interior da cubeta de maneira a ficar fora do raio de alcance do feixe de LASER impedindo assim a obtenção de falsos resultados.

- Método de análise quantitativa da fotólise da solução

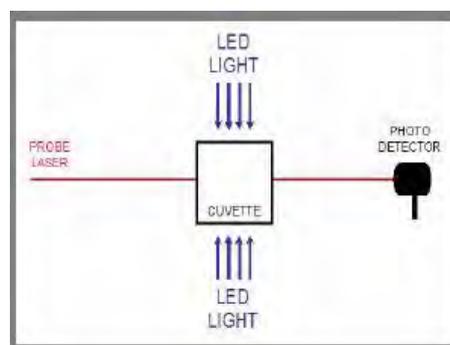
A quantificação da fotólise dos pigmentos contidos na solução pigmentada foi realizada através da utilização de um sistema que quantificou o coeficiente de transmissão de um comprimento de onda visível monocromático através da solução pigmentada em função da intensidade de luz que efetivamente incidia

sobre um fotodetector (Coherent – Palo Alto – CA, USA) localizado após a amostra em relação à fonte emissora de luz. O comprimento de onda de escolha (660nm) foi emitido por um LASER comercial de baixa intensidade de potência colimado (Twin Laser – MMÓptics, São Carlos –SP, Brasil) posicionado a uma distância de 60cm da amostra e a 65cm do fotodetector respectivamente.

O coeficiente de transmissão foi obtido através de um cálculo matemático entre uma medida inicial aqui denominada como linha de Base e as medidas experimentais obtidas através da equação da Figura 1 abaixo.

$$I = I_0 e^{-d}$$

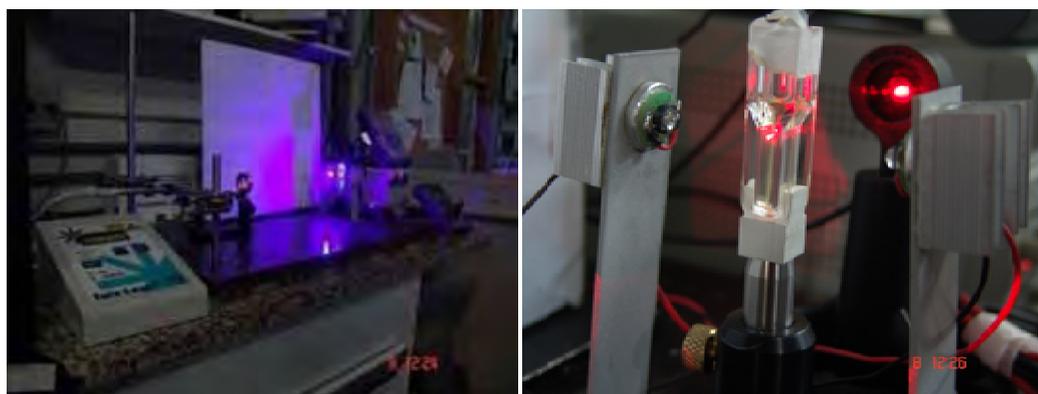
(a)



(b)

Figura 1. (a) equação utilizada para realizar o cálculo do coeficiente de transmissão; (b) desenho esquemático simplificado do experimento a ser realizado.

O sistema foi fixado em uma mesa óptica de maneira a garantir seu posicionamento durante a realização de todo o experimento, isto permitiu a manutenção da incidência perpendicular do feixe LASER em todas as amostras estudadas.



(a)

(b)

Figura 2. (a) Em detalhe a montagem do experimento; (b) Detalhe da montagem do experimento.

As amostras do Grupo 1 (sistema de LEDs azuis, 455nm) de forma individual foram posicionadas em uma cubeta plástica transparente de secção transversal retangular de 1cm de lado, em seguida, ao conteúdo da cubeta (0,8ml de solução aquosa de café) foi adicionado 0,3ml de peróxido de hidrogênio líquido transparente a 35%; Imediatamente após a incorporação do agente oxidante o sistema de LEDs utilizado para promover a catálise será acionado. Durante cada uma das medidas do coeficiente de transmissão planejadas o sistema de LEDs utilizado em cada grupo foi desligado ao passo que o LASER foi acionado, ao final de cada uma destas medidas o LASER foi desligado enquanto que o sistema de LEDs usado em cada grupo foi imediatamente acionado. Para todos os grupos as medidas foram realizadas como segue: na primeira hora em intervalos repetidos de 5 minutos, da segunda hora até a décima hora as medidas foram realizadas em intervalos repetidos de 60 minutos, a partir desta as medidas foram realizadas a cada 5 horas.

Para as amostras do Grupo 2 (Luz LED 936nm), Grupo 3 (Ausência de Luz) e grupo 4 (controle) a manipulação das amostras, bem como a realização das medidas ocorreu da mesma forma como descrito para as amostras do Grupo 1 (sistema de LEDs azuis, 455nm).

Os resultados obtidos foram analisados em um programa estatístico (Origin® 7.0 – USA) e plotados em gráficos auto-explicativos, dessa forma foi possível avaliar o comportamento de quebra das moléculas pigmentadas para cada regime imposto em função do tempo de 20 horas.

### *RESULTADOS E DISCUSSÃO*

Com o propósito de entender o papel efetivo da luz no processo de quebra de pigmentos sob ação de um agente oxidante o experimento foi realizado como descrito. Os quatro grupos estudados foram organizados com o objetivo de comparar o efeito da luz visível com o infravermelho na quebra de pigmentos.

A transmissão do feixe de laser através da amostra é fortemente dependente da concentração de moléculas pigmentadas, então a transmitância foi utilizada para medir a eficiência de quebra de pigmentos.

É possível se observar no gráfico de resultados da Figura 3 que a luz sem a presença do agente oxidante não tem efeito na quebra de pigmentos em solução, ou seja, a presença de um agente oxidante é fundamental para promover a quebra de pigmentos. A utilização do peróxido de hidrogênio sem qualquer agente catalisador é demonstrado no gráfico através dos triângulos preenchidos em azul.

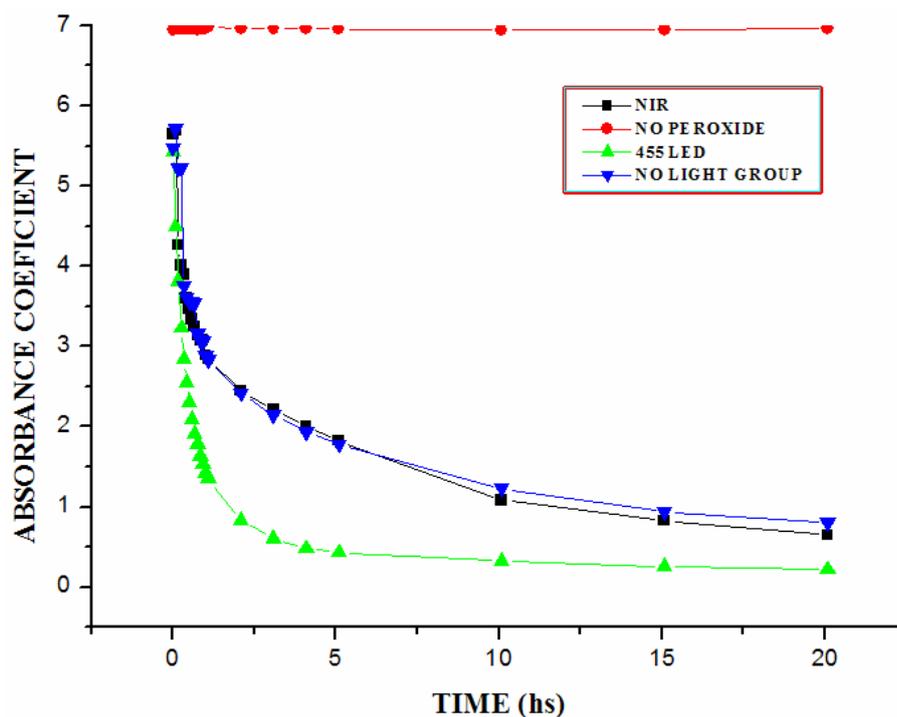


Figura 3. Gráfico dos resultados. Pode-se observar através do padrão de decaimento do coeficiente de absorção dos grupos experimentais a eficiência de cada comprimento de onda estudado.

Neste estudo foi ainda avaliada a evolução da temperatura em função do processo de irradiação de cada amostra. Os resultados da temperatura serão demonstrados na Figura 04. Durante todo o processo de irradiação, o uso da luz azul (455nm) produz um aumento médio da temperatura da solução na ordem de 8°C. Estes resultados indicam claramente que a aceleração da reação química de clareamento dental ocorre através de um efeito térmico produzido pela alta absorção da luz visível pela solução pigmentada o que promove um aumento significativo nos graus de liberdade molecular das moléculas pigmentadas em forma de vibrações. Tal aumento vibracional promove uma relaxação energética através da transferência de energia para a solução por meio das colisões entre as moléculas pigmentadas e o solvente e com isso é possível observar um aumento na temperatura geral da amostra. Uma vez que a reação de oxidação imposta pelo agente clareador é otimizada por meio do aumento de temperatura é possível sugerir que a taxa de decomposição do peróxido é aumentada, portanto pode-se

dizer ainda que a luz melhora a taxa da reação química através da conversão da energia luminosa em calor.

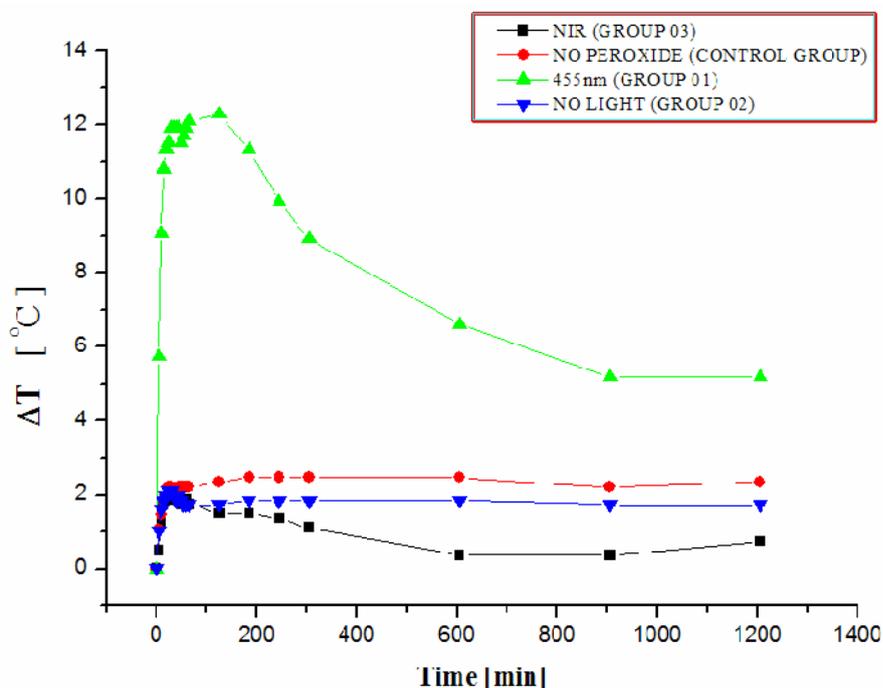


Figura 4. Gráfico de resultados da análise de temperatura em função da evolução do tempo de irradiação.

Estas observações nos permitem extrapolar o princípio de ação do processo de foto-clareamento da solução para os dentes pigmentados. Para os dentes, um gel de peróxido de hidrogênio é posicionado sobre as superfícies vestibulares e a luz azul é incluída no sistema promovendo um clareamento dental tão efetivo quando comparado com a técnica caseira em menor tempo e com aparecimento de menores índices de hipersensibilidade pós-operatória.

Dessa forma a luz emitida em 455nm é pouco absorvida pela estrutura dental e não sofre o mesmo tipo de aquecimento que a solução, mas as moléculas que efetivamente absorvem a luz geram um aquecimento molecular local e melhoram a eficiência da reação sem que toda a estrutura do dente seja aquecida.

## CONCLUSÕES

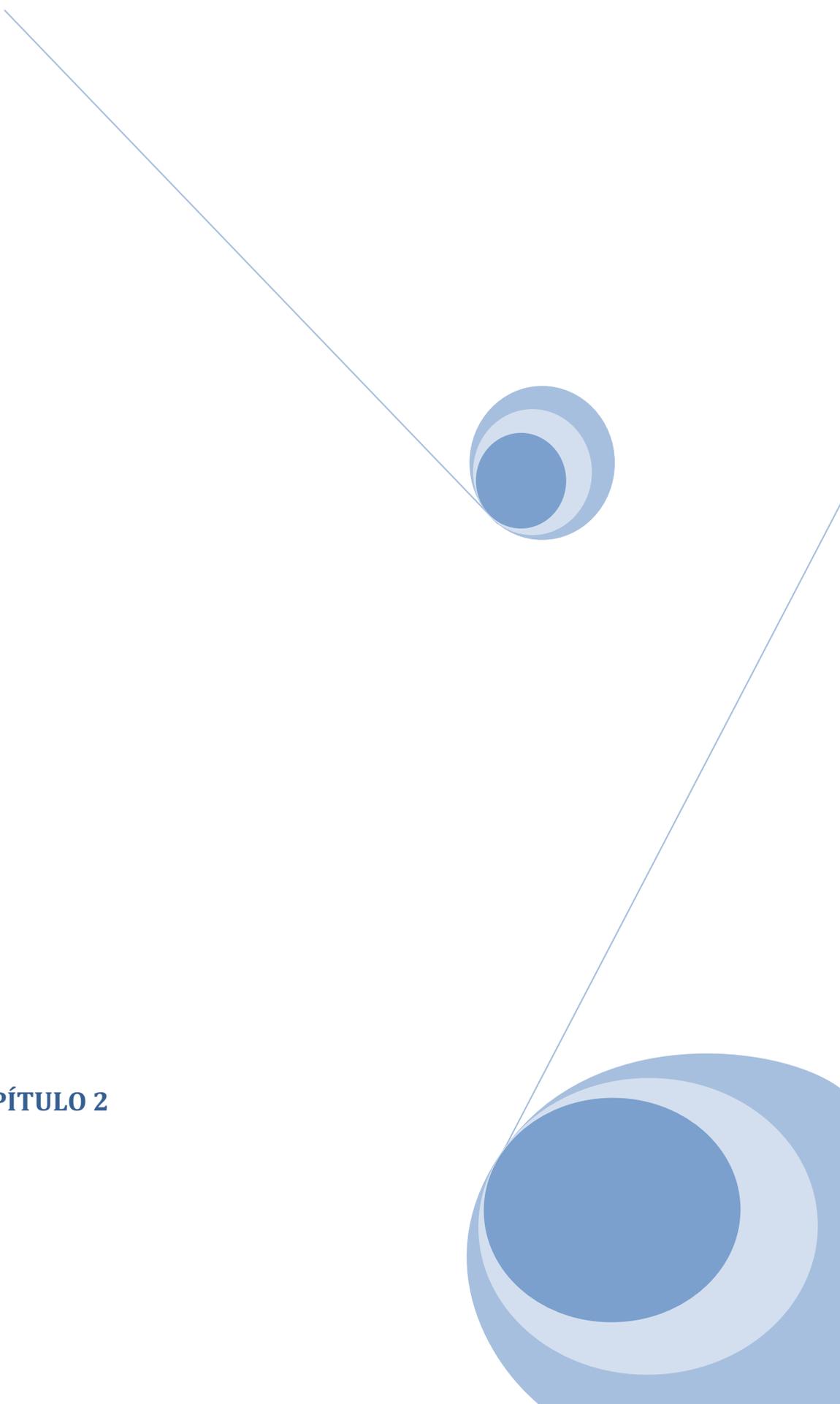
1. Este método se mostrou eficaz para quantificar a eficiência a alteração do coeficiente de absorção da solução pigmentada para cada um dos regimes impostos.
2. Os dados obtidos sugerem que, quando a aceleração do processo efetivamente ocorre por um efeito direto da luz visível, esta pode ser relacionada com o rápido aumento na temperatura observada da solução e conseqüentemente os menores índices de coeficiente de absorção são alcançados.
3. Este método mostrou um controle efetivo das variáveis que influenciam o processo, uma vez que foi estudada apenas a interação direta dos pigmentos com o agente oxidante e a luz.
4. Este método avaliou apenas o comportamento da interação entre o agente oxidante e as moléculas pigmentadas em presença e ausência total de luz em diferentes comprimentos de onda.
5. Este método não é capaz de prever o comportamento do clareamento dental em uma situação clínica.

## REFERÊNCIAS

1. Tredwin, C. J., Naik, S., Lewis, N. J. and C. Scully, C.B.E - Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues-British Dental Journal (2006); 200, 371-376. doi: 10.1038/sj.bdj.4813423.
2. GOKAY O., TUNCIBILEK, M., ERTAN, R., - Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents on teeth restored with a composite resin. J. Oral Rehab 2000;27(5): 428-431.
3. HAYWOOD, V. B., - *Dentine hypersensitivity: bleaching and restorative considerations for successful management*. FDI/World Dental Press. 2002.
4. KLIEGH, R., WERNER, J. S.,-*Color vision: perspectives from different disciplines*,1998. Editora:De Gruyter – Berlin – New York.
5. BELPAEME, T., -*Reaching coherent color categories through communication*. Artificial Intelligence Lab.- Vrije Universiteit Brussel Pelinlann 2, 1050 Brussels,Begium.
6. CANGUSSU, M. C., DJEHIZIAN, V., - *A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica*. Cad.Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18(1): 7-15, jan-fev, 2002.
7. CLARKE, J. H., RIXON, J. E. – *Family-10 and Family-11xylnlanases in their capacity to enhance the bleach ability of hardwoods and softwoods paper pulps*. Appl. Microbiology Biotechnology. 1997. vol. 48: 177-183. Editora Springer-Verlag.
8. CARVALHO, E. O. F, ROBAZZA, C. R., - *Análise espectrofotométrica e visual do clareamento dental interno utilizando laser e calor como fonte catalisadora*. Pesquisa Odontológica Brasileira, 2002; 16(4):337-342.
9. FARREL, J. E., - *Grayscale and resolution tradeoffs in image quality*. Proceedings of the SPIE 3016, February 1997.
10. GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. - *Processamento de imagens digitais*,2000. Editora: Edgard Blücher LTDA.

11. HAYWOOD, V.B., HEYMANN H.O., Night Guard Vital Bleaching Quint.Int. 1989; 20 (3) : 173-176.
12. KIHN, P.W., BARNES, D.M., ROMBERG, E., PETERSON, K., A Clinical evaluation of 10 percent vs 15 percent carbamide peroxide tooth-whitening agents. J. Am Dent Assco 2000; 131(10): 1478-84
13. LEIBOVIC, K. N., - *Science of vision*, 1990. Editora: Springer-Verlag. New York Inc.
14. LEVINE, M. D. – *Vision in man and machine*,1985. Editora McGraw-Hill USA.
15. LI, Y. Peroxide containing tooth witheners: An update on safety. Compend. Cont. Educ. Dent 2000:21 (Suppl 28):S4/S9.
16. LIM, J. S., - *Two dimensional signal and image processing*,1990. Editora: Prencitice Hall, Inc. New Jersey.
17. PERDIGÃO, J., BARATIERI, L.,N., ACARI, G.,M., Contemporary Trends and Techniques in Tooth Withening : A Review – Pract. Proce Aesthet Dent 2004 16 (3): 185 – 192.

## CAPÍTULO 2



## EXPERIMENTO 2 – AVALIAÇÃO DO TEMPO DE PENETRAÇÃO DO OXIGÊNIO EM ESMALTE POR FLUORESCÊNCIA.

---

### *AUTORES*

Florez, F.L.E.\*, Vollet-Filho, J.D.\*\*\*, Oliveira Junior, O.B\*. and Bagnato, V.S.\*\*\*,

\*Universidade Estadual Paulista- Departamento de Dentística Restauradora - UNESP/FO-Araraquara, SP – Brasil.

\*\*Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP) – Grupo de Óptica – CEPID FAPESP

### *INTRODUÇÃO*

Após duzentos anos de estudos acerca do clareamento dental<sup>1</sup> pode-se notar que a técnica passou por inúmeras mudanças, estas estão principalmente relacionadas com os agentes oxidantes utilizados, com o método de aceleração da reação química ou ainda com as suas indicações. Por volta de meados do século XIX esta era uma técnica de utilização restrita aos dentes desvitalizados<sup>2-4</sup>, uma vez que os agentes oxidantes eram muito agressivos e o método de aceleração empregado era extremamente deletério para o elemento dental (aplicação de calor)<sup>5</sup>.

Nos dias de hoje esta técnica ocupa um papel de destaque dentro da odontologia estética do século XXI<sup>6</sup> porque não remove tecido dentinário, não altera a anatomia dos dentes, não altera a dureza dos elementos tratados, é minimamente invasiva e altamente seletiva, além de agregar alto valor comercial para o cirurgião dentista. Praticamente 90% dos casos de alterações cromáticas podem, nos dias de hoje serem resolvidos com o clareamento dental de consultório ou fotoativado<sup>7</sup>. Quando o manchamento é persistente ou muito intenso<sup>8</sup> esta técnica pode ainda ser utilizada como preparatória na instalação de facetas em resina composta ou cerâmicas.

Apesar de todos os benefícios que a técnica de consultório apresenta (menor tempo de exposição, maior segurança e baixos índices de sensibilidade) pode-se observar na literatura uma grande falta de consenso relacionada com a efetividade dos métodos de aceleração, com os mecanismos de ação envolvidos e com os fatores que realmente influenciam o processo. Dentre estes fatores, podemos citar como um dos mais importantes, a difusão do peróxido de hidrogênio na estrutura cristalina do esmalte e da dentina<sup>9-14</sup>, de forma a garantir uma concentração mínima de agente oxidante na periferia das moléculas pigmentadas e com isso obter um clareamento dental eficiente.

Com o desenvolvimento de tecnologias aplicadas ao diagnóstico óptico através de radiações não ionizantes<sup>15,16</sup>, novas e excitantes possibilidades surgiram no campo da odontologia e medicina, estas se utilizam de fenômenos físicos como a fluorescência na detecção de alterações nos mais diversos tecidos biológicos através da interação da luz com o tecido de interesse sem que haja a necessidade da remoção parcial ou completa deste para análise, isto promoveu a criação de uma técnica diagnóstica não invasiva e com altos índices de precisão.

Levando em consideração a necessidade de se quantificar a concentração de oxigênio reativo que efetivamente alcança as regiões de interesse na técnica de clareamento dental em função do tempo, e a falta de ferramentas objetivas para tal investigação, desenvolvemos e pretendemos apresentar método “*in vitro*” de avaliação objetiva do tempo de difusão do peróxido de hidrogênio por fluorescência.

## *MATERIAL E MÉTODOS*

Para tal foi utilizado um sistema diagnóstico portátil (Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos – Grupo de Óptica) composto basicamente por um notebook, um monocromador (Ocean Optics), uma fibra óptica “Y”, uma sonda de Rutênio (Foxy R, Ocean Optics) com diâmetro externo de 1,55mm, responsável pela quantificação da concentração de oxigênio difundido pela estrutura dental. Foi utilizado também um LED emitindo em

450nm  $\pm$  15nm (LAT – Laboratório de apoio tecnológico do Instituto de Física de São Carlos – IFSC/USP) com 10Mw de intensidade de potência, um dente bovino, uma fresa diamantada 1016 HL (KG Sorensen), dois capilares de vidro com aproximadamente 4,7mm de diâmetro interno (Vidraria do Instituto de Física de São Carlos IFSC/USP), resina acrílica auto-polimerizável (VIPI, Pirassununga, Brasil) barreira gengival fotopolimerizável (TOP DAN – FGM, Joinville, Santa Catarina, Brasil), um pote dappen, uma espátula 7, um pincel tigre nº1, 10ml de peróxido de hidrogênio a 35% (Whiteness HP 35% - FGM, Joinville, Santa Catarina, Brasil ) e 1 disco de carborundum.

O dente bovino utilizado foi submetido a uma profilaxia prévia com pasta de pedra-pomes e água destilada aplicada com auxílio de um micromotor e taça de borracha em baixa rotação. Em seguida este foi lavado em água corrente por um período de aproximadamente de 30 segundos. Imediatamente após e com a utilização de um disco de carborundum montado em mandril em baixa rotação e sob refrigeração com água foi realizada a separação parcial da face vestibular de sua face lingual através de uma secção no sentido inciso-cervical até o terço médio (Figura 1c). Após inspeção visual, a dentina remanescente foi totalmente removida com a utilização de uma ponta montada diamantada 1016HL em alta rotação e sob refrigeração abundante.

Em seguida a espessura da lâmina de esmalte assim obtida foi medida com auxílio de um paquímetro de precisão a fim de aferir a uniformidade da espessura de 1,5mm definida como padrão para este estudo.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. (a) Dente bovino inteiro; (b) Disco de carborundum utilizado para o corte do elemento dental; (c) Elemento dental após o corte com o disco de carborundum.

A seguir os capilares de vidro tiveram uma de suas extremidades seccionadas em ângulo de 45 a fim de facilitar a adaptação dos mesmos à face externa e interna da lâmina de esmalte. A fixação destes capilares foi realizada utilizando resina acrílica quimicamente ativada (VIPI, Pirassununga, Brasil) que foi posicionada com o auxílio de um pincel (Tigre Nº 1) respeitando a orientação espacial horizontal e vertical dos capilares de maneira que a luz interna destes permanecessem em posições coincidentes.

O perfeito vedamento dos capilares foi previamente testado a fim de se observar falhas no selamento dos mesmos; como foram detectadas algumas falhas de vedamento foi necessário lançar mão da utilização de resinas fluídas fotopolimerizáveis de maneira acessória para garantir a vedação do sistema.



Figura 2. (a) Desenho esquemático do setup experimental; (b) Aspecto dos capilares adaptados no dente com resina acrílica.

Em seguida a sonda de rutênio descrita anteriormente (FOXY R – Ocean Optics) foi inserida no interior no capilar de vidro adaptado na superfície interna da lâmina de esmalte. Na seqüência, este capilar foi completamente preenchido com água destilada com auxílio de uma seringa de insulina. O capilar posicionado

na superfície externa do esmalte foi preenchido por peróxido de hidrogênio líquido a 35%.

A sonda de rutênio foi conectada a uma fibra óptica do tipo “Y”. As outras duas pontas foram conectadas respectivamente ao LED azul e ao sistema de diagnóstico portátil. A luz azul emitida pelo LED foi responsável por excitar o sal de rutênio contido na ponta da sonda de forma que esta apresente a sua máxima fluorescência. Esta fluorescência foi captada e conduzida pela fibra óptica para o monocromador responsável por separar os comprimentos de onda de interesse.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Em detalhe o sistema diagnóstico portátil utilizado para realizar a aquisição dos dados; (b) Em aumento a sonda de Rutênio( FOXY R- Ocean Optics) utilizada no experimento.

Estes comprimentos de onda foram enviados ao computador através de um sinal em tempo real das alterações da fluorescência em função da evolução do tempo e do aumento da presença do radical livre oxigênio na água destilada, e com auxílio de um software específico foram plotados os gráficos de resultados que são baseados nos espectros de fluorescência.

As medidas foram realizadas durante 6 horas. Nas duas primeiras horas foram realizadas em intervalos de 10 minutos, da segunda até a quarta hora estas foram realizadas em intervalos de 30 minutos e nas duas últimas horas foram

realizadas em intervalos de 60 minutos completando assim o tempo experimental total. Os dados que obtidos foram submetidos à análise matemática no software Origin<sup>®</sup> 7.0.

### *RESULTADOS E DISCUSSÃO*

Os nossos resultados nos permitem extrapolar guardadas as devidas proporções à interação do peróxido de hidrogênio com a estrutura cristalina para a situação de clareamento dental caseiro ou não ativada por luz.

Os fatores determinantes na obtenção de um resultado estético satisfatório no processo de clareamento dental estão relacionados com o tipo e concentração do agente oxidante utilizado, com a presença de agentes catalisadores, com o tempo de exposição dos elementos dentais ao clareador e, principalmente, com a capacidade de difusão do peróxido de hidrogênio na estrutura cristalina. Este deve penetrar de forma efetiva e com concentração mínima através do esmalte, de maneira a atingir a região de interface esmalte-dentina que é considerada atualmente como a região preferencial de acúmulo de pigmentos orgânicos que são responsáveis pelo manchamento do elemento dental.

Uma vez que o agente clareador tenha atingido tais regiões este deve interagir com os pigmentos orgânicos presentes se decompondo e liberando os radicais livres responsáveis pelo processo de oxidação das moléculas pigmentadas.

É possível se observar no gráfico de resultados que para tempos curtos de interação (até 60 minutos) do peróxido de hidrogênio com o elemento dental a concentração de oxigênio reativo que efetivamente alcança a região de interesse é mínima, o que sugere baixo poder de oxidação frente a uma grande concentração de moléculas pigmentadas.

Com a evolução do tempo nota-se ainda que a intensidade de fluorescência vai sendo suprimida de forma exponencial com o aumento da concentração de oxigênio reativo o que sugere que para os tempos a partir de 60 minutos as

quantidades de oxigênio que efetivamente alcançam a região de interesse sejam mais apropriadas para o clareamento dental.

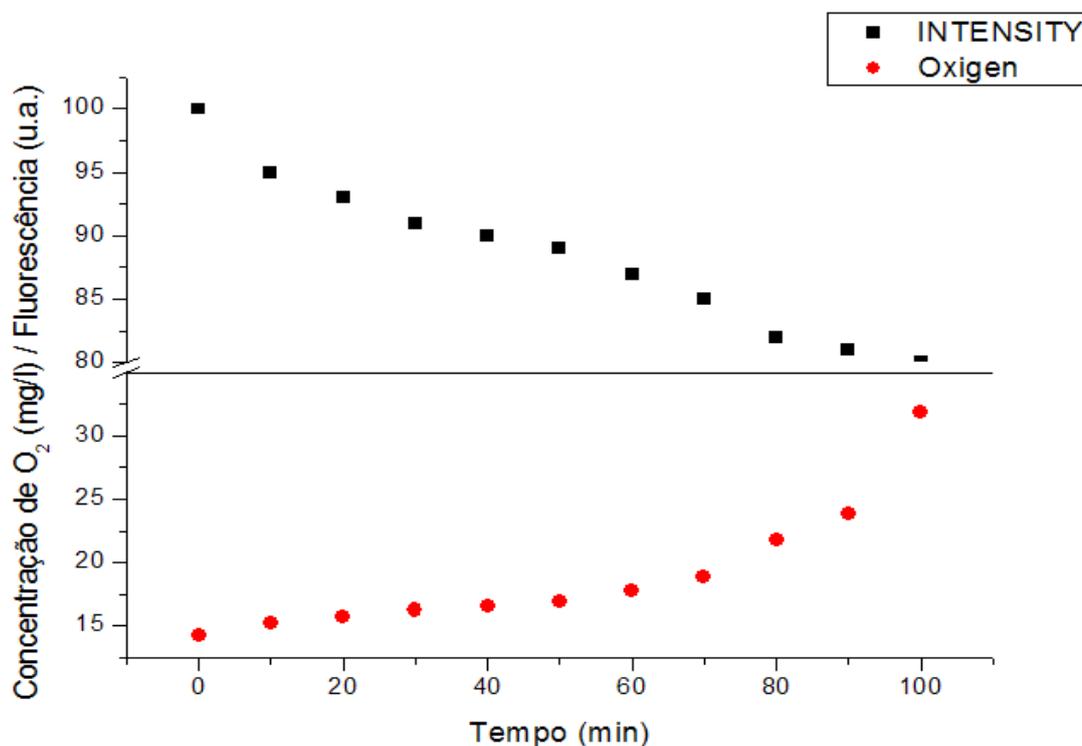


Figura 4. Gráfico de resultados relacionando a intensidade de fluorescência em unidades arbitrárias e a concentração de oxigênio em miligramas por litro em função da evolução do tempo.

### CONCLUSÕES

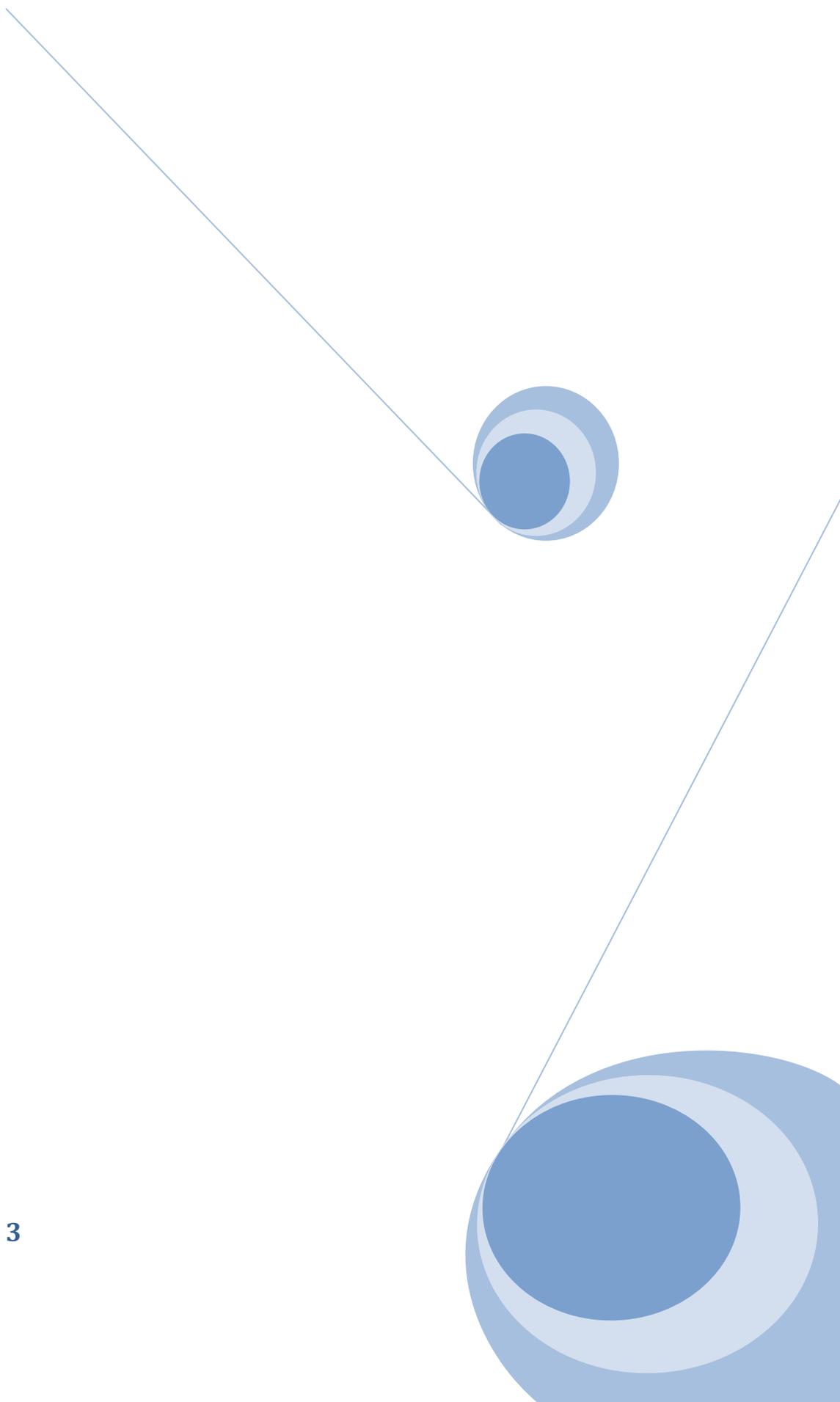
1. Esta metodologia se mostrou eficiente para quantificar o tempo de difusão do peróxido de hidrogênio através de fluorescência.
2. Esta metodologia foi eficaz para quantificar as concentrações de oxigênio reativo que efetivamente atravessaram uma espessura de 1,5mm de esmalte bovino.
3. Os dados obtidos sugerem que o peróxido de hidrogênio quando não catalisado deve ficar em contato com os elementos dentais por longos períodos de tempo de maneira a se obter concentrações críticas nas regiões de interface esmalte-dentina.

*REFERÊNCIAS*

1. Freedman, G.A., McLaughlin, G., Greenwall, L., - In bleaching techniques in restorative dentistry. London: Martin Dunitz; 2001 p.139.
2. Halan, A.W. – The removal of stains caused by the administration of medical agents and the bleaching of pulpless teeth. *Am. J. Dent. Sci.* 1884; 18:521.
3. Nutting, E.B., Poe, G.S.- Chemical bleaching of discoloured endodontically treated teeth. *Dent. Clin. North Am.* 1967; 655-62.
4. Farmer, D.S., Burcham, P., Marin, P.D. – The ability of thiourea to scavenge hydrogen peroxide and hydroxyl radicals during the intra-coronal bleaching of bloodstained root-filled teeth. *Austral Dent. J.* 2006; 51:146-52.
5. Bowles, W.H., Thompson, L.R. – Vital Bleaching: the effects of heat and hydrogen peroxide on pulpal enzymes. *Journal of Endodontics* 1986;12:108-12.
6. Haywood, V.B. – Current status and recommendations for dentist-prescribed, at-home tooth whitening. *Contemporary Esthetic and Restorative Practice* 1999;3 (Suppl. 1):2-9.
7. Frysh H. Complete dental bleaching. Carol Stream: Quintessence Publishing; 1995:25.
8. Nathoo, S. A. – The chemistry and mechanism of extrinsic and intrinsic discoloration. *J. Am. Dent. Assoc.* 1997; 128:6s.
9. Bowles, W.H., Ungwuneri, Z. – Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching procedures. *Journal of Endodontics* 1987;8:375-7.
10. Cooper, J., Bokmeyer, T.J., Bowles, W.H. – Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents. *Journal of Endodontics* 1992; 18(7):315-7

11. Sulieman, M., Addy, M., Macdonald, E., Rees, J.S. – The bleaching depth of a 35% hydrogen peroxide based in-office product: a study in vitro. – *Journal of Dentistry* 2005 (33); 33-40.
12. Camargo, S.E.A., Valera, C.M., Camargo, C.H.R., Mancini, M.N.G. and Menezes, M.M. – Penetration of 38% hydrogen peroxide into the pulp chamber in bovine and human teeth submitted to office bleach technique.
13. Gökay, O, Müjdecı, A. and Algin, E. – In vitro Peroxide into the pulp chamber from newer bleaching products. *International Endodontic Journal*.2005. 38; 516-520.
14. Camps, J., Franceschi, H. Idir, F., Roland, C. About, I. – Time-course diffusion of hydrogen peroxide through human dentin: Clinical significance for young tooth internal bleaching. 2007. *Journal of Endodontics* 33 (4), pp. 455-459.
15. Johansson, A., Kromer, K., Sroka, R. and Stepp, H. - Clinical optical diagnostics – Status and perspectives - *Medical Laser Application* 23 (4), pp. 155-174.
16. Bambot, S., Holavanaha, R., Lakowicz, J.R., Carter, G.M. and Rao, G. - Optical oxygen sensor using fluorescence lifetime measurement. 1994. *Advances in experimental Medicine and Biology*. 361; 197-205.

## CAPÍTULO 3



## Experimento 3- Estudo da influência da pigmentação de três géis na distribuição da luz visível no clareamento dental fotoativado através de imagens digitais

---

### *AUTORES*

FLOREZ, F.L.E\* , MORIYAMA L.T\*\*, OLIVEIRA JÚNIOR, O.B\* e BAGNATO, V.S.\*\*

\*Universidade Estadual Paulista- Departamento de Dentística Restauradora - UNESP/FO-Araraquara, SP – Brasil.

\*\*Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP) – Grupo de Óptica – CEPID FAPESP

### *INTRODUÇÃO*

O clareamento dental foi primeiramente descrito como tratamento estético no início do século XIX, neste período, as concentrações de peróxido de hidrogênio utilizadas, os protocolos de aplicação e as formas de aceleração empregadas eram realizados de forma empírica<sup>1</sup>. Nesta época, o calor era utilizado com o auxílio de um instrumental metálico aquecido (35-50°C) que era posicionado em contato com o elemento dental<sup>2,3,4</sup>.

Os relatos acerca desta técnica demonstraram que o grande aquecimento da estrutura dental em curto período de tempo, resultava em intensa sensibilidade trans e pós-operatória e que, em muitos casos, esta sensibilidade só era sanada

através da realização de tratamentos endodônticos<sup>3, 4,5,6,7</sup>, o que, muitas vezes, limitava a indicação do clareamento dental em dentes vitais. Em contrapartida aos efeitos deletérios resultantes da aplicação do calor, os resultados estéticos obtidos com a utilização desta técnica foram extremamente animadores, uma vez que, a elevação rápida da temperatura do complexo dente-peróxido de hidrogênio promove um significativo aumento na taxa da reação química e dessa forma obtendo grandes reduções de tonalidade, ou seja, um clareamento bastante eficaz.

Sabe-se da literatura que as reações químicas em geral têm as suas velocidades duplicadas quando um aumento de temperatura da ordem de 10°C é imposto ao ambiente onde esta ocorre, ou seja, do ponto de vista químico, um grande aumento de temperatura seria ideal para melhorar a eficiência do processo; Para o complexo dentino-pulpar as diferenças de temperatura que ultrapassem 5,5°C da sua temperatura basal promovem alterações pulpare de caráter irreversível como citado por Sulieman et.al. em 2005, ou seja, do ponto de vista biológico o calor é extremamente prejudicial para a sanidade pulpar<sup>8</sup>.

De posse destes conhecimentos de alta relevância clínica, os pesquisadores da época descartaram então a utilização do calor como agente catalisador, e passaram a utilizar associações dos peróxidos com outros agentes químicos, com essa atitude, eles conseguiram promover um processo catalítico menos agressivo, obtiveram bons resultados estéticos e ainda reduziram drasticamente os riscos inerentes ao processo; isto favoreceu de forma positiva a implementação e difusão desta técnica que nos dias hoje é conhecida como clareamento dental caseiro, sendo descrita de maneira científica inicialmente por Heymann e Heywood em março de 1989<sup>10</sup>.

O peróxido de hidrogênio em suas várias concentrações e apresentações é o agente químico de primeira escolha na odontologia, uma vez que, apesar de ser um dos agentes oxidantes mais potentes e versáteis de que se tem notícia, este apresenta baixos níveis de toxicidade aos tecidos biológicos; A reatividade do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é superior ao cloro, ao dióxido de cloro e ao permanganato de potássio e

quando a sua decomposição é catalisada em presença de luz e em pH básico ocorre um aumento significativo na formação do ânion per hidroxila ( $\text{HO}_2^-$ ) que apresenta reatividade inferior apenas ao flúor<sup>9,10</sup>, como demonstrado nos trabalhos de Kashima-Tanaka et al (2003)<sup>14</sup>.

Basicamente o clareamento dental é um processo químico oxidativo, que transforma as grandes moléculas absorvedoras de luz em moléculas mais simples, este processo ocorre através da quebra das duplas ligações conjugadas presentes nestas longas cadeias através de uma reação de oxiredução; após a quebra destas duplas ligações, as muitas moléculas resultantes deste processo deixam de absorver parte da luz incidente, isto promove um efeito visual de redução da tonalidade da cor do elemento dental que foi submetido ao clareamento. Devido à alta reatividade dos agentes peróxidos utilizados, a reação química ocorre de forma espontânea e independente da presença de agentes catalisadores de qualquer espécie, e dependendo das condições do ambiente molecular onde esta acontece, o peróxido pode ser decomposto em diferentes sub-produtos, os quais apresentam cada um deles uma propriedade química específica, ou seja, pode atuar como agente oxidante ( $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , 1,77V) ou ainda, como agente redutor ( $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ , -0,15V)<sup>11,12</sup>, sendo que os principais fatores que podem influenciar este processo são: temperatura, presença de luz, valor do pH e a presença de metais de transição<sup>13</sup>.

Em geral, a contribuição da luz na aceleração do processo e os mecanismos básicos de atuação da radiação visível no aumento da taxa desta reação química ainda não são bem compreendidos; atualmente, o que se observa na literatura, é uma grande quantidade de trabalhos clínicos publicados que confrontam a eficiência dos procedimentos de consultório<sup>4,15,16,17,18,19</sup> com aqueles que não utilizam qualquer tipo de agente físico de catálise; o grande número de trabalhos publicados sobre este tema, evidenciam a grande preocupação da comunidade científica com a questão da verdadeira atuação da luz visível na aceleração do processo de clareamento dental, e o quanto essa interação é benéfica no aumento da segurança e bem estar do paciente, outros trabalhos

ainda avaliaram os riscos que o procedimento impõe às estruturas cristalinas, tecidos biológicos e materiais restauradores em geral.

O que se pode concluir após criteriosa análise dos trabalhos atuais, é que, não existe um consenso comum com relação aos mecanismos de ação do peróxido na quebra de moléculas pigmentadas localizadas em um complexo cristalino, bem como, com relação aos efeitos deletérios que o procedimento pode desencadear; a falta de consenso aumenta consideravelmente quando a discussão se volta em direção aos equipamentos disponíveis no mercado atualmente;

Atualmente, a hipótese de que a interação luz/molécula pigmentada promove um aumento nos graus de liberdade molecular, e assim a probabilidade de encontro do oxigênio reativo com os sítios específicos das moléculas é aumentada vêm sendo aceita como um dos possíveis mecanismos, se não o principal, na aceleração fotônica da reação química<sup>20,21</sup>. Para que esta aceleração fotônica alcance uma eficiência satisfatória, é necessário que a penetração e distribuição da luz seja facilitada de maneira a se obter uma intensidade por área crítica para realizar a otimização do processo.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da pigmentação do gel na penetração da luz em um dente bovino, por meio de imagens digitais e análises computacionais.

#### *MATERIAL E MÉTODO*

Neste experimento, foi realizado o estudo da influência de três pigmentos orgânicos (vermelho, verde e azul) na penetração e distribuição da luz visível em um dente bovino por imagens digitais; Foi utilizado um gel transparente e inerte manipulado à base de carbomero (carbopol) em um laboratório especializado (Botica – São Carlos, SP), de maneira a servir de veículo para os pigmentos eleitos no estudo. A escolha da utilização de um gel manipulado foi baseada na obtenção da padronização das quantidades e componentes utilizados na

formulação deste gel, bem como, nas características ópticas similares que este apresenta quando comparado com os géis clareadores comerciais.

O veículo gel transparente foi inicialmente dividido em três partes iguais, cada parte pesando aproximadamente 30 gramas; em seguida, e de maneira individual, foi adicionada a cada parte do gel, uma porção de 0,5 gramas de um corante orgânico nas cores vermelha, verde e azul; Após a confecção dos géis pigmentados procedeu-se à preparação do elemento dental de escolha, primeiramente, o dente foi submetido à uma profilaxia prévia com pedra-pomes e água em baixa rotação com o auxílio de uma taça de borracha, depois, determinou-se a área da superfície vestibular de interesse para o estudo com a utilização de uma caneta marcador na cor azul (Pilot- ponta 2mm), em seguida, e

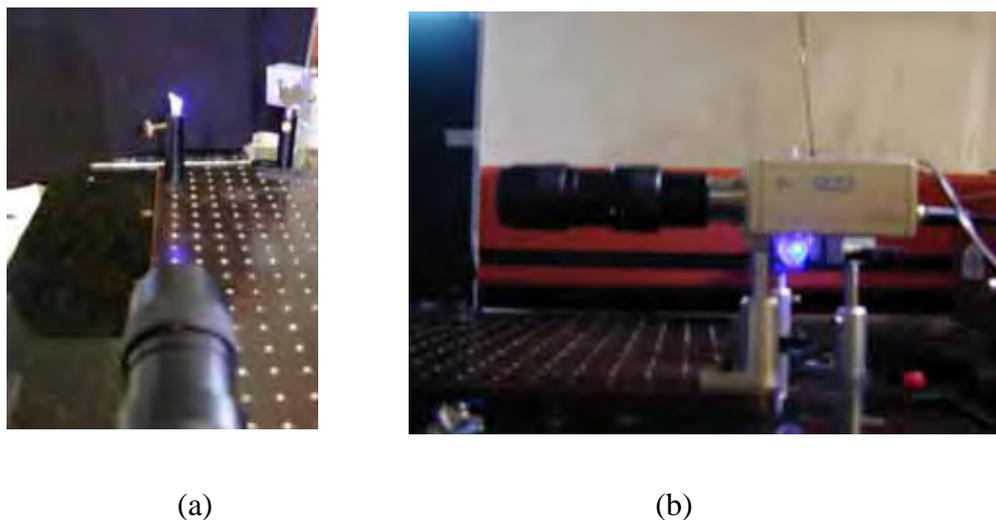


Figura 01. Detalhes da montagem experimental; (a) conjunto óptico do sistema de aquisição de imagens e amostra irradiada; (b) Detalhe do posicionamento da câmera CCD.

com a utilização de um disco de carborundum foi realizada a secção completa da coroa clínica. Após o preparo do elemento dental, este teve a sua posição determinada e fixada em uma mesa óptica com o auxílio de um posicionador metálico.

O sistema de aquisição de imagens utilizado era composto basicamente por uma câmera digital CCD LG, uma objetiva, uma placa de aquisição de imagens e um micro-computador. A parte óptica deste sistema foi afixada em uma mesa óptica de maneira a se garantir a padronização do posicionamento espacial do conjunto de óptico de aquisição. A câmera foi posicionada perpendicularmente à amostra obtendo assim uma imagem do perfil do dente.

Foram utilizadas duas fontes de luz que representam os equipamentos mais freqüentemente utilizados para este tipo de procedimento, sendo um LASER de argônio emitindo em  $455\text{nm} \pm 5\text{nm}$  (Coherent – USA) e um LED  $455\text{nm} \pm 15\text{nm}$  (MMÓptics – São Carlos, Brasil) ambos com densidade de potência de  $39\text{ mW/cm}^2$ .

Os grupos experimentais foram determinados em função das fontes de luz utilizadas e de acordo com o pigmento do gel como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1. Detalhamento dos grupos experimentais.

<b>DESCRIÇÃO DOS GRUPOS EXPERIMENTAIS</b>			
	<b>GRUPOS</b>	<b>GEL</b>	<b>FONTES DE LUZ UTILIZADAS</b>
<b>GRUPO 1</b>	<b>1</b>	<b>SEM GEL</b>	<b>LED</b>
	<b>2</b>	<b>SEM GEL</b>	<b>LASER</b>
<b>GRUPO 2</b>	<b>1</b>	<b>GER VERMELHO</b>	<b>LED</b>
	<b>2</b>	<b>GEL VERMELHO</b>	<b>LASER</b>
<b>GRUPO 3</b>	<b>1</b>	<b>GEL VERDE</b>	<b>LED</b>
	<b>2</b>	<b>GEL VERDE</b>	<b>LASER</b>
<b>GRUPO 4</b>	<b>1</b>	<b>GEL AZUL</b>	<b>LED</b>
	<b>2</b>	<b>GEL AZUL</b>	<b>LASER</b>

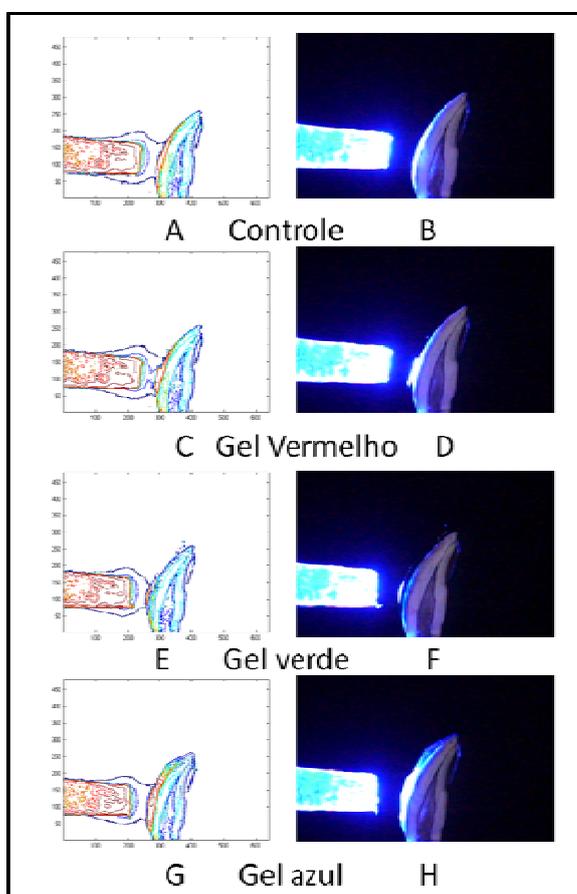
Para cada situação de estudo, foram realizadas a aquisição de 16 imagens digitais, em seguida estas imagens foram submetidas ao processamento digital em um ambiente matemático (MATLAB<sup>®</sup> R12) com o auxílio de uma rotina

específica de análise; basicamente esta rotina soma as 16 imagens obtidas para cada situação, em seguida obtém-se a imagem média onde a presença de qualquer ruído óptico é bastante diminuída, depois são traçados os perfis de distribuição da luz e o gráfico do decaimento de potência em função da penetração da luz no dente.

### RESULTADOS

Os resultados experimentais obtidos são demonstrados em formato de imagens digitais antes e após o tratamento matemático das mesmas; estes dados evidenciam o comportamento da penetração e distribuição radial da luz em função da coloração da pigmentação imposta a um gel transparente que foi posicionado sobre a estrutura cristalina do elemento dental.

#### GRUPO 1. LED



#### GRUPO 2. LASER

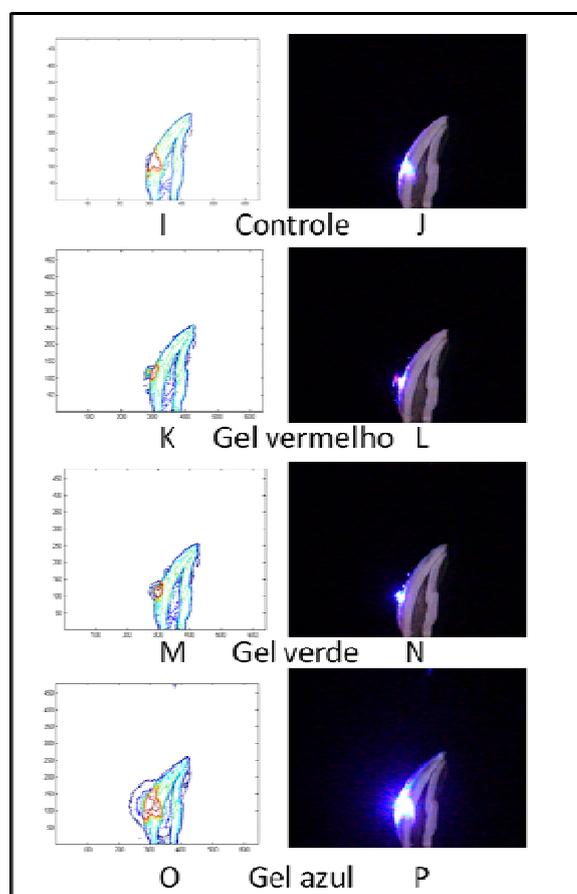


Figura 02. O Quadro acima apresenta as imagens para os grupos 1 e 2 em todas as situações impostas.

Através da análise visual e digital das imagens obtidas para todos os grupos foi possível observar que, a interação da luz com o substrato cristalino é fortemente influenciada pela presença e coloração do gel; dependendo da pigmentação do gel, como nos casos dos subgrupos 1.2 e 2.2 (gel vermelho), o comprimento de onda emitido foi praticamente todo absorvido, esta alta absorção impede uma maior interação da luz com as moléculas pigmentadas de interesse que estão localizadas na dentina.

Quando observamos os resultados dos subgrupos 1.3 e 2.3 (gel verde), foi possível verificar que a luz emitida por ambas as fontes foi altamente refletida pelo gel pigmentado, este tipo de interação reduz drasticamente a eficiência do processo, uma vez que a maior parte da energia é refletida de volta para o ambiente.

Os melhores resultados dentre os grupos experimentais foram observados para os subgrupos 1.4 e 2.4, quando o gel utilizado tinha a pigmentação azul; este gel parece atuar como um intensificador das propriedades de interação da luz com a matéria, ou seja, com a utilização deste gel foi observada uma maior penetração da luz na estrutura cristalina, bem como, um aumento na distribuição radial e homogeneização das intensidades observadas quando a mesma área é considerada

## *CONCLUSÕES*

- Os pigmentos testados influenciaram diferentemente a penetração da luz azul no dente bovino independente da fonte de luz utilizada;
- A penetração da luz foi máxima no grupo controle (sem gel) e foi mínima no grupo com gel verde;
- O pigmento azul determinou a menor interferência permitindo assim uma penetração semelhante ao grupo controle.

## *AGRADECIMENTOS*

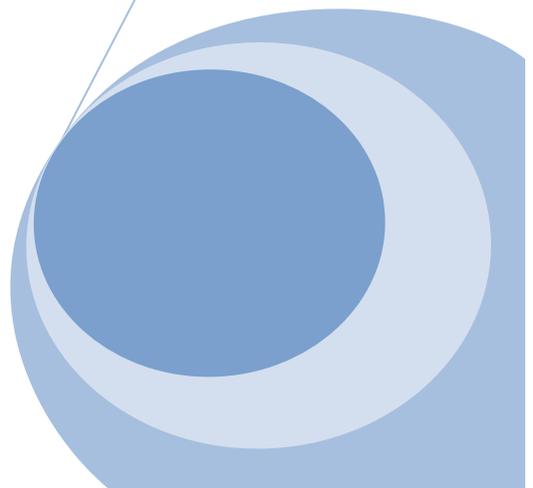
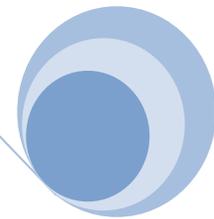
Agradeço a colaboração de todos os integrantes do laboratório de Biofotônica da Universidade de São Paulo em São Carlos (IFSC/CePOF-CEPID/FAPESP) que de maneira direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho. Agradeço ao apoio financeiro das agências CNPq/FAPESP.

## REFERÊNCIAS

1. Haywood, V.B.; Quintessence Int. 1992;23:471-488.
2. Shearer AC. External bleaching of teeth. Dent Update 1991;18:289-91.
3. Weinberg SP, Reingold AL. Heated Bleaching: a safe and rewarding method. Dent. Today 1997;16(4):58, 60, 62-65.
4. Greenwall L. Bleaching techniques in restorative dentistry- an illustrated guide. London: Martin Dunitz Ltd.; 2001
5. Reyto R. Laser Tooth whitening. Dent Clin North Am 1998;42:755-62.
6. Berger A, Gutknecht N, Lampert F. In Office-Bleaching unter Verwendung einer Plasmalampe. Fallbeispiele zur Aufhellung vitaler und avitaler Zähne. Quintessenz 2003;54:765-72.
7. Seale NS, Thrash WJ. Systematic assessment of color removal following vital bleaching of intrinsically stained teeth. J.Dent Res 1985;64:457-61.
8. Sulieman M, Addy M, Rees JS. Surface and intra-pulpal temperature rise during tooth bleaching: an in vitro study. Br Dent. J 2005;2005;199:37-40.
9. Goldstein R.E., Garber D.A. Complete dental bleaching: Quint Publishing comp, Inc 1987.
10. Haywood V.B., Haymann H.O, Nightguard vital bleaching. Quintessence Int. 1989;20:173-176.
11. Mattos IL, Shiraishi KA, Braz AD, Fernandes JR – Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. Quim. Nova, Vol. 26, No.3,373-380,2003.
12. Schumb, W.C; Satterfield, C.N.; Wentworth, R.L.; Hydrogen peroxide, Reinhold: New York, 1955.
13. Everse, J.; Everse, K.E.; Grisham, M.B.; Peroxides in chemistry and biology, CRC Press: New York, 1991.
14. In: Howe-Grant M, editor. Encyclopedia of chemical technology, 4<sup>th</sup> edition, vol 13. New York : John Wiley and Sons; 1992 p13-15.
15. Joiner A. The bleaching of a teeth: A review of the literature. Journal of dentistry 34:412-419.2006

16. Smigel I. Laser tooth whitening. *Dentistry today* 1996: 32-6.
17. Lu AC, Margiotta A, Nathoo SA. In-office tooth whitening: current procedures. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 2001;22:798-805
18. Hanosh FN, Hanosh GS. Vital bleaching: a new light activated hydrogen peroxide system. *Journal of Esthetic Dentistry* 1992;4:90-5.
19. Nakamura T, Saito O, Ko T, Maruyama T. The effects of polishing and bleaching on the colour of discoloured teeth in vivo. *Journal of Oral rehabilitation* 2001;28:1080-4.
20. Nash RW. In-office bleaching system for quick esthetic change. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 1999;20:986-90.
21. Florez, F. L. E.; Lins, E. C. C. C.; Lizarelli, R. F. Z.; Bagnato, V. S.- Quantification of the efficiency for photo-bleached pigments using cellulose matrixes as substrate and digitalized gray scale [6137-12] – *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering-2006, VOL 6137, pages 61370C.*

**DISCUSSÃO GERAL**



O clareamento dental de consultório fotoacelerado é uma técnica bastante estabelecida, amplamente utilizada e atualmente, reconhecida como uma das técnicas mais eficazes disponíveis na odontologia para o tratamento de grande parte das alterações de cor para dentes vitais e não vitais como evidenciado por Sulieman<sup>61</sup> e Joiner<sup>37</sup>.

Em vista da versatilidade e aplicabilidade a procura por tal tratamento estético vem aumentando de forma considerável como salientado por Dahl em 2003<sup>16</sup>. Apesar disto, ainda existem vários questionamentos a respeito da eficiência desta técnica de clareamento. Jones<sup>39</sup>, Christensen<sup>14</sup>, Hein<sup>33</sup> e Papathanasiou<sup>51</sup> relatam que seria impossível realizar a distinção entre o tratamento com luz e o tratamento sem luz independente da fonte de luz utilizada o que indicaria que a fotoaceleração é dispensável. Em contraste a estes autores existem inúmeros trabalhos que relatam a obtenção de melhores resultados de redução de cor quando a técnica é realizada em presença de luz<sup>22,25,47,57,69</sup>.

Tendo em vista a falta de consenso observada na literatura com relação à efetividade das fontes de luz na aceleração do processo e o entendimento limitado acerca dos mecanismos de ação da luz envolvidos no fotocclareamento, decidimos realizar alguns estudos in vitro de forma a contribuir para o entendimento dos questionamentos observados.

Tradicionalmente a análise da eficiência do processo de clareamento dental se dá através do estabelecimento de uma relação com a cor obtida antes e após a execução do procedimento. Esta quantificação de cor tem sido realizada por meio de análises visuais (subjetivas) de comparação da cor obtida com as escalas de cor de referência ou análises digitais (objetivas) através da utilização de colorímetros, espectrofotômetros e técnicas que utilizam sistemas de imagens.

A quantificação visual é o método mais frequentemente utilizado na rotina da clínica odontológica diária<sup>49,51,69</sup>, mas, algumas variáveis como metamerismo, experiência profissional, idade, fadiga, e daltonismo devem ser controladas de forma a se obter resultados consistentes. A comparação visual exige a realização

de um maior número de avaliações e de uma criteriosa calibração dos avaliadores, assim como, de um rigoroso controle sobre as variações da iluminação ambiente para que este tipo de método seja confiável. Além disso, as escalas de cor comerciais não são sistemáticas<sup>49</sup> e não abrangem a variabilidade total de cor observada na população<sup>57</sup>, e os sistemas de escalas de cor apresentam variações entre si como descrito no trabalho de Portero et. al em 2007<sup>54</sup>.

A análise de cor através da utilização dos sistemas digitais como colorímetros e espectrofotômetros, apesar de apresentarem boa reprodutibilidade da cor mensurada tanto in vivo quanto in vitro, apresentam algumas desvantagens que têm sido descritas na literatura. Primeiramente, estes sistemas são projetados para realizar análises quantitativas de superfícies planas e cores sólidas, características estas que fogem do padrão da constituição e anatomia de um elemento dental<sup>63</sup>.

Em segundo lugar deve-se ainda ser levada em consideração a baixa reprodutibilidade das medidas de cor quando se comparam diferentes equipamentos<sup>49</sup>, a inconsistência da cor analisada por tais equipamentos e ainda a grande sensibilidade destes sistemas dificultam a aquisição de dados.

Considerando as dificuldades em se avaliar a eficiência do clareamento dental em função da cor obtida, decidimos desenvolver uma metodologia de estudo in vitro que avalie de forma objetiva a quebra de pigmentos sem a necessidade de correlacionar os dados obtidos com a cor. A metodologia proposta avaliou o grau de absorção de uma solução de café ao comprimento de onda de  $660\text{nm} \pm 5\text{nm}$  que foi emitida por um LASER vermelho colimado em função do tempo e, do regime de irradiação imposto em cada grupo.

É possível observar no Gráfico de resultados (Capítulo 1, Figura 3 – Página 27) que a eficiência do processo é aumentada quando em presença de luz visível ( $455\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ), ou seja, podemos afirmar que o regime de irradiação com comprimento de onda visível promoveu uma diminuição considerável do coeficiente de absorção da solução pigmentada, permitindo assim uma maior

passagem de luz pela solução em função do tempo, o que representa a fotólise do pigmento condicionada pelos diferentes regimes impostos para essa solução.

Através da observação dos resultados dos outros grupos experimentais para um mesmo intervalo de tempo, torna-se evidente que os demais regimes de irradiação não apresentaram a mesma eficiência. Pode-se concluir que o processo parece não sofrer grande influência quando irradiado com infravermelho próximo ( $936\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ) o que é traduzido pelo comportamento muito similar entre as curvas do grupo infravermelho e do grupo sem qualquer irradiação (controle). Deste gráfico se pode ainda concluir que, quando o processo se deu com ausência do agente oxidante os comprimentos de onda utilizados não foram capazes de promover a quebra das moléculas pigmentadas, o que, provavelmente indica a necessidade da utilização dos peróxidos.

Estes resultados estão em concordância com o trabalho *in vitro* de Dostalova et. al.<sup>18</sup> que em 2004 estudaram os efeitos de diferentes fontes de luz na obtenção de resultados mais efetivos de clareamento dental; os resultados apresentados por estes autores evidenciam uma maior eficiência da terapia de clareamento acelerada por luz quando comparados á terapia sem luz, em adição, se encontram as observações clínicas apresentadas no estudo randomizado de Tavares et. al.<sup>65</sup> em 2003 que sustentam a hipótese que a luz efetivamente melhora a eficiência do processo para um mesmo período de tempo.

Em direção oposta se encontram os trabalhos clínicos de Papathanasiou et al.<sup>51</sup> em 2002 e de Hein et al.<sup>33</sup> em 2003, que avaliaram a eficiência dos procedimentos de clareamento com e sem luz utilizando uma metodologia que aplica protocolos de diferentes em hemiarquadas em um mesmo paciente, estes autores relatam que as diferenças de cor observadas entre os tratamentos são estatisticamente insignificantes ou não existem diferenças observáveis com os sistemas atuais de análise de cor.

Ao correlacionar os dados relativos à eficiência do processo com os dados que avaliaram a alteração de temperatura registrada durante a experimentação

(Capítulo 1, Figura 4 – Pagina 27) pode-se verificar que, a maior alteração se deu em presença da luz visível. Acreditamos que esse comportamento tenha ocorrido porque as moléculas pigmentadas da amostra absorveram de forma intensa a energia luminosa emitida; esta alta absorção promoveu através da transformação da energia luminosa em energia térmica um aumento dos graus de liberdade das moléculas, o que resultou em um aumento significativo da temperatura e por consequência uma quebra de pigmentos melhorada.

Em 2007, Buchalla, Attin<sup>11</sup> publicaram uma revisão sistemática relativa aos efeitos do calor, da luz e do laser na terapia de clareamento dental, enfatizaram que de acordo com a literatura disponível sobre o tema nada se pode concluir com relação aos efeitos da aplicação de sistemas de catalise na melhora dos resultados de clareamento dental ou ainda na aceleração do processo. Em contra partida, existem estudos que descrevem a observação de melhores resultados de clareamento através da utilização das fontes de luz ou ainda de calor<sup>12,18,25,28,33,34</sup>, porém a observação e a intensidade de tais efeitos dependem da forma de análise propostas nos estudos.

Com base nas condições experimentais aqui propostas e nos resultados obtidos, podemos sugerir que a luz efetivamente influencia de forma positiva a quebra de pigmentos, podendo com isso diminuir o tempo de interação do peróxido de hidrogênio com as moléculas pigmentadas através da melhora da eficiência do processo; muito embora esta seja uma metodologia inovadora e sem precedentes no estudo do processo de quebra de pigmentos, acreditamos que esta seja interessante do ponto de vista científico porque oferece uma nova abordagem acerca da eficiência da interação da luz com o peróxido de hidrogênio em presença de moléculas pigmentadas.

É importante salientar ainda que esta metodologia não sofre influências de fatores como, por exemplo, diferenças na composição físico-química dos elementos dentais, quantidade de estrutura, forma e anatomia que dificultam a padronização dos estudos e tem como características marcantes, o controle sobre

as variáveis do processo, a mensuração objetiva do efeito baseado em fenômenos físicos amplamente conhecidos e a boa reprodutibilidade.

Outro fator determinante na obtenção de um clareamento dental que apresenta bons resultados estéticos é a concentração de oxigênio reativo que efetivamente alcança a interface esmalte/dentina. Esta concentração está diretamente relacionada com alguns fatores, entre eles, o tempo de exposição do elemento dental ao agente clareador, o peso molecular deste agente clareador, a tensão superficial que o gel clareador apresenta e a presença de luz; Os trabalhos de Bowles et. al.<sup>8</sup>. em 1987 e Wetter et.al.<sup>73,74</sup> em 2004 indicam que além da obtenção de melhores resultados estéticos, a permeabilidade do elemento dental é aumentada em presença de fontes de irradiação ou calor, o que favorece a penetração do peróxido de hidrogênio no elemento dental melhorando com isso a eficiência do processo.

Isto significa dizer que a molécula do peróxido de hidrogênio deve inicialmente, penetrar no esmalte dental e em seguida deve alcançar a interface com a dentina, região esta, que responde pela maior influência na cor do elemento dental<sup>26</sup> por ser a região preferencial de acúmulo de pigmentos orgânicos.

A penetração do peróxido de hidrogênio acontece devido a uma combinação entre o seu baixo peso molecular e, a característica que este agente químico apresenta de desnaturar proteínas, esta combinação de fatores, aumenta a movimentação de íons na estrutura cristalina<sup>26</sup> do esmalte através de alterações promovidas na composição química do dente por meio de um desbalanceamento nas quantidades de fosfato e cálcio no esmalte e na dentina<sup>41,56</sup>; de acordo com Gomez et. al. em 1999<sup>26</sup> a quantidade de agente clareador que efetivamente alcança a polpa é, influenciada pela quantidade de esmalte e dentina que a estrutura dental apresenta, em adição, os resultados de Nathanson em 1997<sup>48</sup> sugerem que, quanto maior for a espessura de dentina presente em um elemento dental maior será a proteção da polpa contra agentes clareadores.

Em função da quantidade de trabalhos publicados sobre este tema, nota-se a preocupação por parte da comunidade científica em estabelecer a profundidade de penetração do agente clareador em direção ao tecido pulpar<sup>5,7,24,28,33,63</sup>, uma vez que esta pode ser relacionada com os efeitos colaterais/adversos relacionados ao clareamento dental. Entre os muitos efeitos colaterais, podemos citar como principais a sensibilidade dentinária (dentes vitais) e as reabsorções radiculares internas e externas (dentes não vitais). Alguns trabalhos relacionam a presença do peróxido de hidrogênio na região da câmara pulpar com uma inibição drástica da ação enzimática da polpa como descrito no trabalho de Bowles, Thompson em 1986<sup>7,15</sup>.

Outros trabalhos relatam ainda que, estudos experimentais *in vitro* não podem reproduzir com exatidão as condições clínicas reais no que diz respeito à penetração do peróxido de hidrogênio<sup>29,34,61</sup>. O trabalho de Vogsavan, Matthews em 1991<sup>70</sup> sustenta esta hipótese, estes autores afirmam que, a penetração de corantes em esmalte e dentina *in vivo* é menor do que a penetração do mesmo corante *in vitro*. Segundo eles, a pressão positiva dentro dos túbulos dentinários diminui, de forma intensa, a penetração e difusão de substâncias da cavidade bucal em direção à polpa. Um estudo acerca da penetração do peróxido de hidrogênio realizado por Bowles et. al<sup>9</sup>. em 1987 relatou que este composto químico difunde rapidamente através do esmalte dental atingindo a dentina e a câmara pulpar em curtos períodos de tempo. Outros trabalhos afirmam que, na condição clínica real a penetração do peróxido de hidrogênio é bastante diminuída relatando ainda ser seguro a realização do clareamento dental com peróxido de hidrogênio a 35%<sup>13,56,63</sup>.

Em vista da importância significativa que a difusão do agente clareador representa para a técnica de clareamento, tanto para a obtenção dos resultados positivos como para a segurança biológica da técnica, decidimos investigar através da utilização de um sistema de diagnóstico óptico a base de fluorescência, a efetiva concentração de oxigênio reativo que atravessa uma espessura de 1,5mm de esmalte bovino.

Através da análise do gráfico de resultados (Capítulo 2, Figura 4 – Página 39), foi possível observar que, a intensidade de fluorescência da sonda de rutênio decresceu proporcionalmente em função do aumento da concentração de oxigênio que efetivamente atravessou o esmalte. Observamos um comportamento linear de difusão do peróxido na estrutura dental do período inicial até 40 minutos de interação do peróxido de hidrogênio com a estrutura dental. Atingindo uma concentração máxima de 18mg/l no final deste período. Nos períodos subsequentes o padrão de difusão assume um comportamento exponencial, sugerindo que a partir deste momento, mais moléculas de oxigênio reativo alcançam a interface esmalte/dentina por unidade de tempo.

O padrão de difusão por nós observado pode indicar que o processo de difusão do agente clareador não é simples e, está diretamente relacionado com a alteração de permeabilidade que é provocada pela ação de desmineralização que o Ph do agente clareador promove no esmalte como descrito no trabalho de Lee et. al.<sup>42</sup> em 2006.

Com 100 minutos de evolução do tempo de interação do agente clareador com o elemento dental, notamos que a concentração observada foi de aproximadamente 36 mg/l, o que de acordo com o trabalho de Bowles e Thompson<sup>8</sup> em 1986 esta dentro do intervalo de concentração tolerável para utilização do peróxido de hidrogênio em dentes vitais, sem que este agente químico cause efeitos irreversíveis ao tecido pulpar, nesse trabalho os autores sugerem ainda que o limiar de concentração atinge níveis ao redor de 50 mg/l sem que qualquer dano pulpar significativo seja observado.

Outros trabalhos analisam a profundidade de penetração do agente clareador através de uma relação estabelecida com a alteração de cor observada por meio da utilização de colorímetros manuais<sup>10,19,39,40,53,60</sup> e sistemas de quantificação de cor por imagens digitais<sup>55</sup> como realizado por Sulieman et. al.<sup>63</sup> em 2005.

Apesar de alguns autores acreditarem que os trabalhos *in vitro* não podem simular as condições reais de penetração do peróxido de hidrogênio em um dente vital<sup>29,33,62</sup>, acreditamos que a criação de novas metodologias que utilizem equipamentos modernos de diagnóstico óptico minimamente invasivos, possam contribuir para o entendimento da dinâmica de difusão do peróxido de hidrogênio no dente.

Nossos dados indicam que a técnica de clareamento de consultório com a utilização de géis clareadores a base de peróxido de hidrogênio a 35-38% é segura pois ao utilizarmos uma solução de peróxido e estendermos o tempo de aplicação além do usual observamos concentrações seguras deste agente químico na interface esmalte /dentina. Como a taxa de liberação do peróxido de hidrogênio de géis clareadores e o tempo de interação do gel com a estrutura dental em uma situação clínica é menor do que a utilizada em nossa metodologia podemos inferir que as concentrações de peróxido nas técnicas clínicas é bastante segura, apesar de existir contestação sobre a segurança da técnica de clareamento de consultório.

Nos dias de hoje existem diversos tipos e marcas de agentes clareadores disponíveis no mercado para serem utilizados em presença de luz, basicamente estes agentes químicos são compostos por peróxido de hidrogênio a 35% e estão associados com diferentes corantes orgânicos, que conferem a estes géis clareadores colorações que como vermelho, vermelho-alaranjado e verde escuro. Em princípio, estes pigmentos que foram incorporados com a finalidade de absorver a energia luminosa emitida pelas fontes de luz, utilizadas para a fotoaceleração da técnica de clareamento dental (LASER, Arco de Plasma, Halógena, Xenon e LEDs) e, transformá-la em calor o que favorece um aumento na taxa de decomposição da reação química, melhora a penetração do agente clareador e ainda de acordo com alguns fabricantes bloqueia o aumento de temperatura que alguns tipos de fontes de luz promovem no órgão pulpar durante o processo de clareamento dental;

Os trabalhos de Luk<sup>44</sup>, Sulieman<sup>61</sup> e Wetter<sup>73</sup>, descrevem que todos os tipos de fontes de luz causaram algum nível de aumento de temperatura na câmara

pulpar de dentes em condições *in vitro* com e sem a utilização de géis clareadores, o que contradiz a possível ação bloqueadora de calor de alguns géis pigmentados. De acordo com Eldeniz et. al.<sup>20</sup> em 2005 os dentes que foram irradiados com sistemas de LEDs apresentaram os menores índices de elevação de temperatura em comparação com outras fontes de luz.

De maneira geral a utilização de sistemas de fotoaceleração de luz fria para clareamento dental são baseados na tecnologia dos diodos semicondutores que emitem um comprimento de onda estreito na região visível do espectro eletromagnético. Estes sistemas têm sido amplamente aceitos e utilizados, mas o processo parece não ter a mesma eficiência quando se comparam os resultados obtidos com os resultados obtidos com as fontes de luz que apresentam grandes quantidades de calor associadas a sua energia luminosa, como os Lasers, os arcos de plasma, as lâmpadas de xenon ou ainda as lâmpadas incandescentes de tungstênio.

Alguns trabalhos da literatura sugerem que a obtenção de resultados estéticos inferiores quando se utilizam fontes de catalise baseadas em LEDs esta associada exatamente com o fato destes sistemas emitirem uma energia luminosa que apresenta baixos índices de calor associados, outros trabalhos ainda criticam de maneira geral a utilização de qualquer fonte de luz para acelerar o processo de clareamento dental<sup>14</sup>.

Atualmente é possível se observar na literatura autores<sup>22</sup> que discursam sobre a hipótese que a interação da luz diretamente com a molécula pigmentada seja mais interessante para o processo de clareamento do que, propriamente o aumento da temperatura do gel clareador. Estes autores acreditam que a interação da luz com as moléculas pigmentadas criam um ambiente favorável para que a reação química de clareamento dental ocorra de forma melhorada. Esta hipótese indica a necessidade da penetração da luz com intensidade adequada para ativar o sistema molecular onde a reação ocorre, isto significa dizer, que nesta proposição de mecanismo de clareamento, a luz deve sofrer a menor influencia possível do

gel clareador no seu trajeto até a região de interface do esmalte com a dentina garantindo alta intensidade de energia na nesta região afim de realmente potencializar as reações de clareamento.

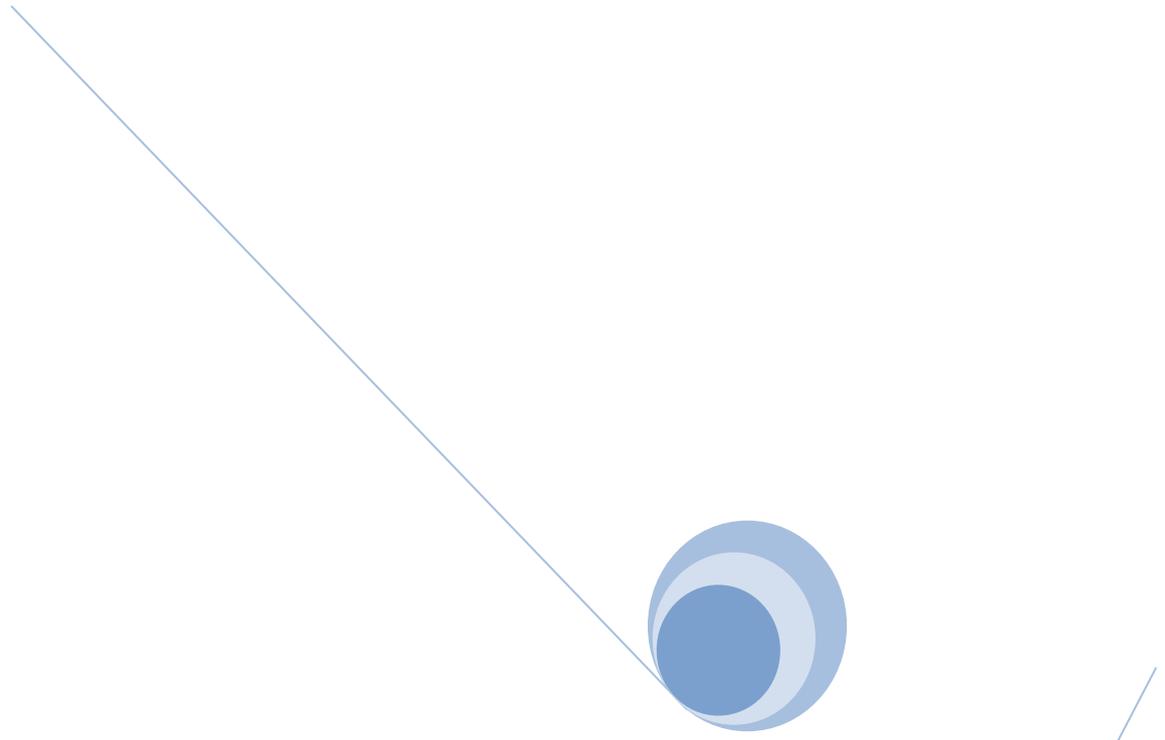
Em função desta hipótese, nos propusemos a investigar o perfil penetração e distribuição da luz em dentes bovinos por imagens digitais e análise computacional. Observamos nos resultados (Capítulo 3, Figura 2 – Página – 49) que a penetração e distribuição da luz no grupo controle é máxima para os dois tipos de fontes de luz utilizadas, nota-se que a luz visível atinge profundidades que ultrapassam o limite amelo-dentinário o que consideramos ser fundamental para a obtenção de um clareamento efetivo.

Quando observamos os grupos experimentais podemos notar que em todos os casos o perfil de distribuição e penetração sofre algum tipo de influência das pigmentações testadas. O grupo experimental que utiliza o gel vermelho influencia de forma significativa a interação da luz de ambas as fontes com o elemento dental, o pigmento contido neste gel absorve intensamente o comprimento de onda emitido por ambas as fontes de luz e restringe a distribuição e a penetração da luz em esmalte, este comportamento de interação observado indica uma maior interação da luz com o gel clareador o que deve favorecer o aquecimento deste e conseqüentemente o aumento da decomposição do peróxido de hidrogênio presente no gel clareador. O que seria ideal se o mecanismo de clareamento estiver baseado na pré-ativação do peróxido antes que este penetre a na estrutura dental.

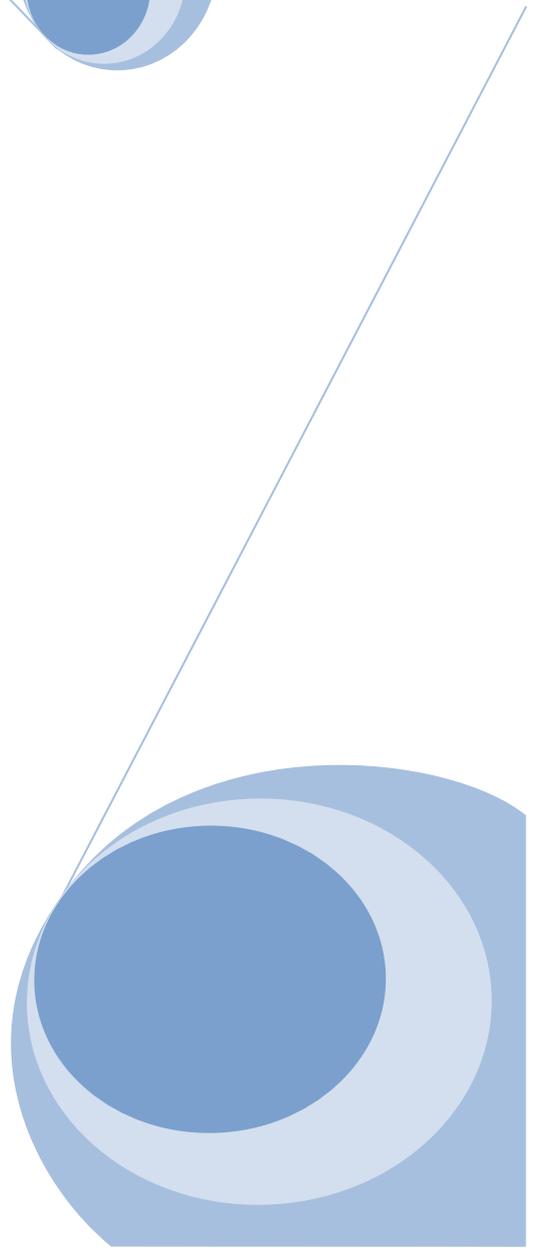
Observamos no grupo experimental com pigmento verde incorporado uma maior restrição de penetração e difusão da energia luminosa, as imagens deste grupo sugerem que a cor verde promove maior espalhamento superficial, onde maiores quantidades de energia são desperdiçadas, sugerindo que géis que contenham este pigmento apresentem menor efetividade de clareamento quando ativados com luz azul.

A análise do grupo experimental que contém pigmentos azuis no gel clareador demonstra interferência pouco significativa, mas que, apesar de causar pouca interferência estes pigmentos ainda promovem uma mudança no perfil de distribuição e penetração do comprimento de onda utilizado. Nota-se que a luz atinge a interface esmalte/dentina com maior intensidade do que observado nos demais grupos. Se considerarmos o mecanismo de ação de clareamento baseado na ativação do oxigênio reativo na interface dentinária como sendo a ideal podemos considerar que esta pigmentação de gel seja mais favorável para a obtenção de melhores resultados estéticos. Uma das áreas que se abrem após essas considerações é a de se definir qual destes mecanismos de interação: 1- luz/gel ; 2- luz/dente, é o mais efetivo para se utilizar na técnica de clareamento dental fotoassistida com luz azul.

Nestes trabalhos conseguimos tecer considerações acerca de alguns aspectos de interesse para a técnica de clareamento dental fotoassistida, no entanto outros aspectos ainda não foram abordados e novas hipóteses foram propostas o que demanda a realização de trabalhos futuros.



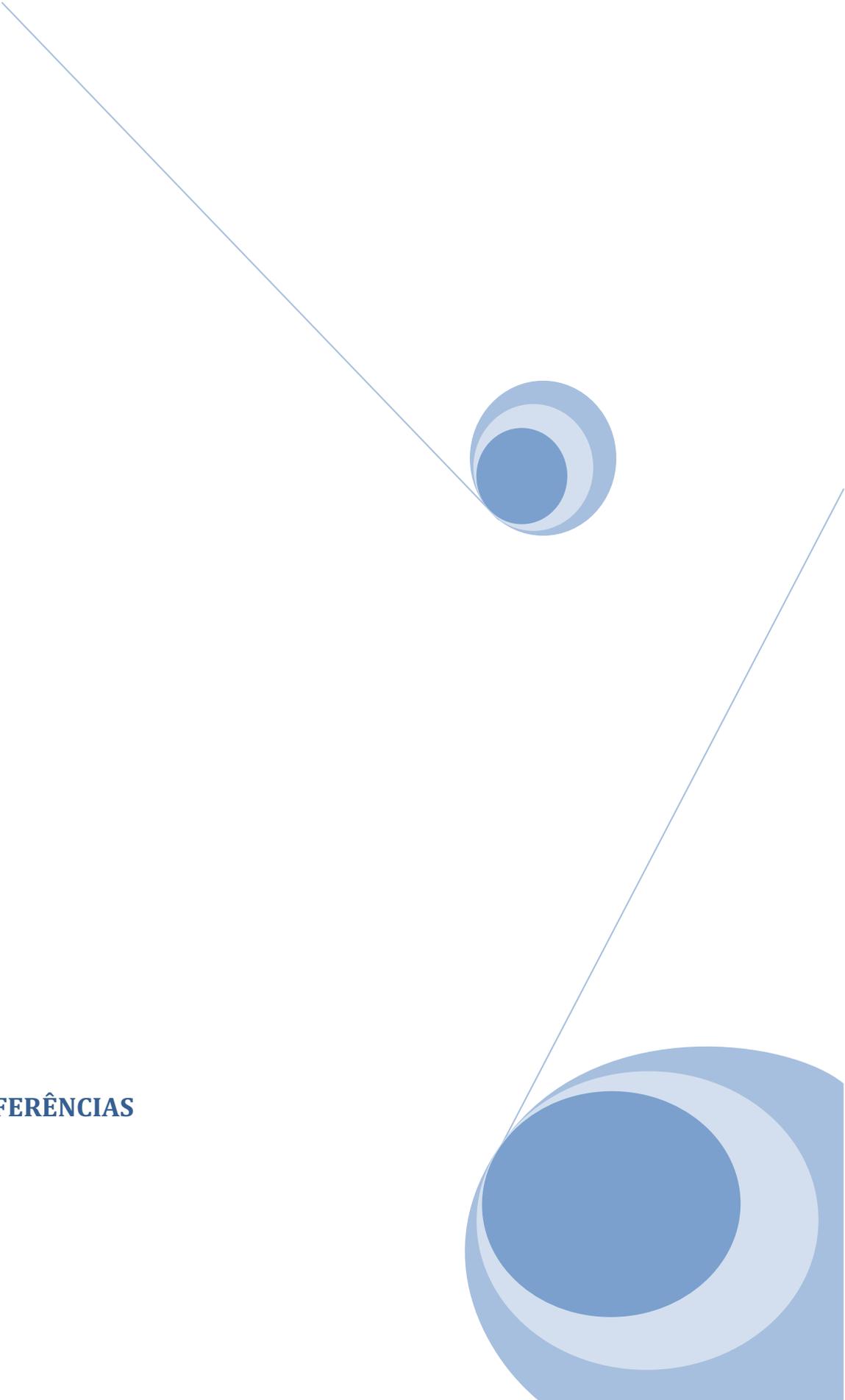
**CONCLUSÃO**



De acordo com a metodologia aqui proposta e as condições experimentais podemos concluir e julgar verdadeiro que:

- O comprimento de onda  $455\text{nm} \pm 15\text{nm}$  é eficiente para realizar a otimização do processo de quebra de pigmentos quando utilizado em conjunto com o peróxido de hidrogênio.
- A luz visível não tem energia para quebrar as moléculas pigmentadas.
- O processo pode ser muito influenciado pela pigmentação presente no gel quando se utiliza fontes de luz a base de diodos semicondutores.

**REFERÊNCIAS**



## REFERÊNCIAS

1. Ames J W. Removing stains from mottled enamel. *Dent Cosmos*. 1937; 52: 701-2.
2. Atkinson C B. Bleaching teeth, when discolored from loss of vitality: means for preventing their discoloration and ulceration. *Dent Cosmos*.1862; 3: 74-7.
3. Atkinson C B. Fancies and some facts. *Dent Cosmos*.1892; 34: 968-72.
4. Atkinson C B. Hints and queries. *Dent Cosmos*. 1879; 21: 471.
5. Benetti AR, Valera MC, Mancini MN, Miranda CB, Balducci I. In vitro penetration of bleaching agents into the pulp chamber. *Int Endod J*. 2004; 37: 120-4.
6. Bitter NC. A scanning electron microscopy study of the effect of bleaching agents on the enamel. A preliminary report. *J Prosthet Dent*. 1990; 67:852-55.
7. Bogue E A. Bleaching teeth. *Dent Cosmos*. 1872; 14: 141-3.
8. Bowles WH, Thompson LR. Vital bleaching: the effects of heat and hydrogen peroxide on pulpal enzymes. *J Endod*. 1986; 12: 108-12.
9. Bowles WH, Ugwuneri Z. Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching procedures. *J Endod*. 1987; 13: 375-7.
10. Braun A, Jepsen S, Krause F. Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations. *Dent Mater*. 2006; 23: 165-9.
11. Buchalla W, Attin T. External bleaching therapy with activation by heat, light or laser – a systematic review. *Dent Mater*. 2007; 23: 586-96.
12. Caldwell CB. Heat source for bleaching discolored teeth. *Ariz Dent J*. 1967; 13: 18-9.

13. Camps J, Franceschi H, Idir F, Roland C, About I. Time-course diffusion of hydrogen peroxide through human dentin: clinical significance for young tooth internal bleaching. *J Endod.* 2007; 33: 455-9.
14. Christensen G. Why resins curing lights do not increase tooth lightening. *Status Report. CRA Newsletter.* 2000; 24:3.
15. Cohen SC. Human pulpal response to bleaching procedures on vital teeth. *J Endod.* 1979; 5: 134-8.
16. Dahl JE, Pallesen U. Tooth bleaching – a critical review of the biological aspects. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2003; 14: 292-304
17. Dietz VH. The bleaching of discolored teeth. *Dent Clin North Am.* 1957; 897–902.
18. Dostalova T, Jelinkova H, Housova D, Sulc J, Nemec M, Miyagi M, et al. Diode laser-activated bleaching. *Braz Dent J.* 2004; 15(Special issue):S13-8.
19. Douglas R D. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent.* 1997; 77: 464-70.
20. Eldeniz AU, Usumez A, Usumez S, Ozturk N. Pulpal temperature rise during light-activated bleaching. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005; 72:254-9
21. Everse J, Everse KE, Grisham MB. *Peroxides in chemistry and biology.* Boca Raton: CRC Press; 1991. p. 1-35.
22. Florez FLE, Lins ECC, Lizarelli RFZ, Bagnato VS. Quantification of the efficiency for photo-bleached pigments using cellulose matrixes as substrate and digitalized gray scale. *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE* 2006; 6137: 61370C
23. Gokay O, Müjdecı A, Algn E. Peroxide penetration into the pulp from with strips. *J Endod.* 2004; 30: 887-9.

24. Gokay O, Yilmaz F, Akin S, Tuncbilek M, Ertan R. Penetration of the pulp chamber by bleaching agents in teeth restored with various restorative materials. *J Endod.* 2000; 26: 92-4.
25. Goldestein CE, Goldestein RE, Feinman RA, Garber DA. Bleaching vital teeth: state of the art. *Quintessence Int.* 1989 ; 20: 729-37
26. Gomez APA, Giraldo GMH, Arango LGH. Peroxide de hidrogeno al 35% y peroxide de carbamide al 10% para el blanqueamiento dental. *Univ Odontl.* 1999; 19: 14-20.
27. Hanks CT, Fat JC, Wataha JC, Corcoran JF. Cytotoxicity and dentin permeability of carbamide peroxide and hydrogen peroxide vital bleaching materials. *J Dent Res.* 1993; 72: 931-8.
28. Hanosh FN, Hanosh GS. Vital bleaching: a new light activated hydrogen peroxide system. *J Esthet Dent.* 1992; 4 :90-5.
29. Harlan AW. The removal of stains from teeth caused by administration of medical agents and the bleaching of pulpless tooth. *Am J Dent Sci.* 1884; 18: 521.
30. Harlan AW. The dental pulp, its destruction, and methods of treatment of teeth discolored by its retention in the pulp chamber or canals. *Dent Cosmos.* 1891; 33: 137-41.
31. Haymann HO, Haywood VB. Nightguard vital bleaching. *Quintessence Int.* 1989; 20: 173-6.
32. Hegedüs C, Bistey T, Flora-Nagy E, Keszthelyi G, Jenei A. An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. *J Dent.* 1999; 27: 509-15.
33. Hein DK, Ploeger BJ, Hartup JK, Wagstaff RS, Palmer TM, Hansen LD. In office vital bleaching – What does light add?. *Compend Contin Educ Dent.* 2003; 24:340-52
34. Hodosh M, Mirman M, Shklar G, Povar M. A new method of bleaching discolored teeth by the use of a solid state direct heating device. *Dent Dig.* 1970; 76: 344-6.

35. Howe-Grant M. Encyclopedia of chemical technology. 4<sup>th</sup> ed. New York : John Wiley and Sons;1992. v.13, p.13-5.
36. Howell RA. Bleaching discoloured root-filled teeth. Br Dent J. 1980; 148: 159–62.
37. Joiner A. The bleaching of a teeth: a review of the literature. J Dent. 2006; 34: 412-9.
38. Joiner A, Philipotts CJ, Alonso C, Ashcroft AT, Sygrove NJ. A novel optical approach to achieving tooth whitening. J Dent. 2008; 36: 32-7.
39. Jones A, Diaz-Arnold A, Vargas M, Cobb D. Colorimetric assessment of laser and home bleaching techniques. J Esthet Dent. 1999; 11: 87-94.
40. Kirk E C. The chemical bleaching of teeth. Dent Cosmos. 1889; 31: 273–83.
41. Kirk E C. Hints, queries, and comments: sodium peroxide. Dent Cosmos.1893; 35: 1265–7.
42. Lee KH, Kim HI, Kim KH, Kwon YH. Mineral loss from bovine enamel by a 30% peroxide solution. J Oral Rehabil. 2006; 33: 229-33.
43. Lu AC, Margiotta A, Nathoo SA. In-office tooth whitening: current procedures. Compend Contin Educ Dent. 2001; 22: 798-805.
44. Luk K, Tam L, Hubert M. Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. J Am Dent Assoc. 2004; 135: 194-201.
45. Merrell H. Bleaching of discoloured pulpless tooth. J Can Dent Assoc. 1954; 20: 380.
46. Minguez N. Advances in the history of composite resins. J Hist Dent. 2003; 51: 10305.
47. Nash RW. In-office bleaching system for quick esthetic change. Compend Contin Educ Dent. 1999; 20: 986-90.
48. Nathanson D. Vital tooth bleaching: sensivity and pulpal considerations. J Am Dent Assoc. 1997; 128: 41S-4S.
49. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new small-color-diference equation for dental shades. J Dent Res. 1990; 69: 1762-4.

50. Odiodo LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic behavior, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compend Contin Educ Dent.* 2000; 21: 35-41.
51. Papathanasiou A, Kastali S, Perry RD, Kugel G. Clinical evaluation of a 35% hydrogen peroxide in-office whitening system. *Compend Contin Educ Dent.* 2002; 23:334-5
52. Paul S, Peter A, Petronaban N, Hammerle C H F. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002; 81: 578-82.
53. Prinz H. Recent improvements in tooth bleaching a clinical syllabus. *Dent Cosmos.* 1924; 66: 558–60.
54. Portero PP, Florez FLE, Bagnato VS, Monteiro Lofredo LCD, Oliveira-Júnior OB. Colorimetric evaluation of composite materials with different thickness by reflectance spectroscopy. *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE 2007;* 6425: 64250z-1.
55. Rosenthal P. The combined use of ultra-violet rays and hydrogen dioxide for bleaching teeth. *Dent Cosmos.* 1911; 53: 246–7.
56. Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. *J Endod.* 1996; 22: 23-5.
57. Schumb WC, Satterfield CN, Wentworth RL. *Hydrogen peroxide.* New York: Reinhold; 1955.
58. Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent.* 1990; 64: 425-31.
59. Seale NS, McIntosh JE, Taylor AN. Pulpal reaction to bleaching of teeth in dogs. *J Dent Res.* 1981; 60: 948-53.
60. Smigel I. Laser tooth whitening. *Dent Today.* 1996; 15: 32-6.
61. Sulieman MAM. Overview of tooth bleaching: techniques: chemistry, safety and efficacy. *J Periodontol.* 2000; 48: 148-69.

62. Sulieman M, Addy M, Rees JS. Development and evaluation of a method in vitro to study the effectiveness of tooth bleaching. *J Dent.* 2003; 31:415-22.
63. Sulieman M, Addy M, Macdonald E, Rees JS. The bleaching depth of a 35% hydrogen peroxide based in-office product: a study in vitro. *J Dent.* 2005; 33: 33-40.
64. Taft J. Bleaching teeth. *Am J Dent Sci.* 1878;12: 364.
65. Tavares M, Stultz J, Newman M, Smith V, Kent R, Caprino E. Light augments tooth whitening with peroxide. *J Am Dent Assoc.* 2003; 134:167-75.
66. Thenard LJ. *Annales de chimie et de physique. J Phys.* 1818; 8: 308
67. Thitinthannpan W, Satamanot P, Vongsavan N. In vitro penetration of the pulp chamber by three brands of carbamide peroxide. *J Esthet Dent.* 1999; 11: 259-64.
68. Truman J. Bleaching of non-vital discoloured anterior teeth. *Dent Times.*1864; 1: 69–72.
69. Van der Burgt TP, Bosch JJT, Borboom PCF, Kortsmid WJPM. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent.* 1990; 63:155-62.
70. Vongsavan N, Matthews B. The permeability of cat dentine in vivo and in vitro. *Arch Oral Biol.* 1991; 36: 641-6.
71. Zach L and Cohen G. Pulp Response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1965; 19; 515-30.
72. Westlake A. Bleaching teeth by electricity. *Am J Dent Sci.* 1895; 29: 101.
73. Wetter NU, Barroso MCS, Pelino JEP. Dental bleaching efficacy with diode laser and LED irradiation: an in vitro study. *Lasers Surg Med.* 2004; 35: 254-8.
74. Wetter NU, Walverde D, Kato IT, Eduardo CP. Bleaching efficacy of whitening agents activated by xenon lamp and 906-nm diode radiation. *Photomed Laser Surg.* 2004; 22: 489-93.

Autorizo a reprodução deste trabalho.

(Direitos de publicação reservado ao autor)

Araraquara, 16 de fevereiro de 2009.

FERNANDO LUIS ESTEBAN FLOREZ