



INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

FLUORESCÊNCIA, ESPESSURA DE ESMALTE E COR DO DENTE: RELAÇÃO ÓTICA ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS

Trabalho submetido por
Sara Moraes Fernandes dos Santos Pereira
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Paulo João Bela Teiga de Durão Maurício

março de 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

FLUORESCÊNCIA, ESPESSURA DE ESMALTE E COR DO DENTE: RELAÇÃO ÓTICA ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS

Trabalho submetido por
Sara Moraes Fernandes dos Santos Pereira
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Paulo João Bela Teiga de Durão Maurício

e coorientado por
Mestre João Tiago Alfar o Falcão da Fonseca

março de 2017

A vós, meus pais, que imensuravelmente amo e admiro.

De coração cheio:

Obrigada.

“The secret to success is constancy to purpose.”

- Benjamin Disraeli

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a concretização deste trabalho:

Ao meu orientador, Prof. Doutor Paulo Maurício, por toda a confiança depositada e orientação na elaboração deste projeto tornando possível a elaboração deste projeto;

Ao meu coorientador, Mestre João Falcão da Fonseca, por todo o ensinamento, pela paciência, pela incessante disponibilidade, pela amizade incondicional, pelo apoio nos melhores e nos piores momentos, pela confiança, e por nunca ter permitido que me faltassem forças demonstrando a sua conduta humana como fonte de inspiração. Levo-te para a vida;

Ao professor José Reis, por tudo o que me ensinou durante o percurso académico, pela disponibilidade e por nunca duvidar das minhas capacidades;

Ao Hugo Costa Lapa, pelo incentivo na busca da sabedoria tornando-se um exemplo a seguir;

Ao Luís Fonseca, pela amizade e pela partilha de conhecimento multidisciplinar de excelência;

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, pelos valores morais e humanos transmitidos, pela partilha e por, em qualquer circunstância e obstáculo, sermos apenas um só;

À Carolina, pela amizade incondicional, pelo apoio, pela força e por caminharmos sempre juntas estando presente em todos os momentos da minha vida;

À Ângela, à Alix e à Dani, por terem sido o meu pilar durante os anos académicos, por não me deixarem desistir em momentos de dificuldade e por termos percorrido e ultrapassado todas as pedras que fizeram parte do caminho tornando a união parte essencial da aprendizagem. Seguimos juntas;

À Maria, Carlota, Raquel e Diana, por serem a família que eu escolhi.

Fluorescência, espessura de esmalte e cor do dente: relação ótica por análise de imagens digitais

Sara Moraes Pereira

Estudante do Mestrado Integrado em Medicina Dentária, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

saraappereira@hotmail.com

João T Fonseca, DMD, MSc

Clínica privada, Tomar, Portugal

José Alexandre Reis, DMD, MSc

Departamento de Reabilitação Oral, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

jreis@egasmoniz.edu.pt

Francisco Carvalho, PhD

Presidente, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

pmauricio@egasmoniz.edu.pt

Paulo Maurício, DMD, PhD

Departamento de Reabilitação Oral, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

pmauricio@egasmoniz.edu.pt

Fluorescência, espessura de esmalte e cor do dente: relação ótica por análise de imagens digitais

Objetivo: Este estudo tem o propósito de estudar a relação entre a fluorescência do esmalte, cor do dente e espessura de esmalte em dentes humanos.

Materiais e métodos: 36 dentes humanos foram encaixados num sistema de posicionamento fixo em três diferentes condições de exposição: luz ultravioleta, luz LED e luz LED combinada com luz ultravioleta. Foram tiradas três fotografias a cada dente sob as diferentes condições de exposição.

Os dentes foram digitalizados (Ineos Blue Extra-Oral Scanner) e fotografados antes e depois de uma imersão em ácido de forma a remover seletivamente o esmalte e calcular a sua espessura através da sobreposição espacial do esmalte e do núcleo dentinário.

A cor das áreas incisal, média, cervical e total foram analisadas com recurso ao *software* de forma a registar os valores de RGB, que foram posteriormente convertidos em coordenadas do espaço de cor CIEL*a*b* (iluminante D65). Os diferenciais de cor e de exposição foram calculados para as três diferentes condições de exposição e a sua relação foi estatisticamente comparada.

Resultados: Em UV₍₁₎, a espessura de esmalte é preditor de ΔL^* ($p < 0.05$) e ΔE ($p < 0.01$). Entre UV vs LEDUV, foram encontradas fortes correlações entre ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* e ΔH ($p = 0.01$). A espessura de esmalte é um fator preditor de $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta E_{UV(2)-UV(1)}$ ($p < 0.05$). Os diferenciais de cor em LEDUV não foram estatisticamente significantes quando correlacionados com a espessura de esmalte.

Conclusão: A espessura de esmalte está moderadamente correlacionada com a sua fluorescência. A ausência de esmalte influencia a perceção visual da cor do dente. A fluorescência do esmalte está correlacionada com a cor do dente e tem uma subtil influência na alteração da cor do dente quando este é removido.

Palavras-chave: espessura de esmalte; fluorescência; CIEL*a*b*; imagens digitais; dentes humanos

Introdução:

A compreensão de como a luz interage com os dentes pavimenta um passo importante no caminho dos materiais ao encontro do que mais se assemelha à natureza [1]. O fenômeno da percepção visual é de extrema importância no que influencia o sucesso e integração estética de uma restauração [2] [3].

A cor representa uma resposta do cérebro humano à relação entre um estímulo luminoso e a interpretação pelos três diferentes tipos de fotorreceptores existentes na retina [4]. Desta forma, dois materiais apesar de semelhantes serem capazes de produzir um estímulo visualmente semelhante [5].

Dentes naturais e materiais artificiais interagem com diferentes fontes de luz. A luz solar devido à sua amplitude espectral determina diferentes tipos de comportamento ótico por parte dos tecidos duros do dente [3]. Desta forma, é importante investigar como o dente natural se comporta sob diferentes tipos de luz. Isolar e combinar estas fontes de luz é também uma importante ferramenta no âmbito da compreensão de como cada parte do espectro contribui para a cor do dente sob um variado conjunto de condições. Os dentes são estruturas naturalmente fluorescentes que, quando expostos a radiação ultravioleta (UV), emitem uma radiação visível azulada que quando somada aos comprimentos de onda que o dente reflete, alteram a forma como o observador os percebe, tornando-os mais brancos e luminosos [6]. Esta propriedade altera o fenômeno da percepção visual da cor do dente. Compreender a fluorescência do dente natural tem implicações forenses além de múltiplas aplicações no diagnóstico e tratamento restaurador de dentes com materiais resinosos e cerâmicos [7], [8].

Os dentes também se comportam como fibras óticas que exibem dispersão luminosa [9]. Cada ponto na superfície do esmalte está diretamente interligado a um ponto na superfície da câmara pulpar. Desta forma, a manutenção da macroestrutura

dentária e arranjo espacial dos tecidos duros durante a investigação *in vitro* garante que as interações de luz no dente se mantenham inalteradas [10].

A técnica mais descrita na literatura para determinação da intensidade e características da fluorescência do esmalte e dentina humanos é a espectrofluorometria de estado estacionário e de estado dinâmico [11], [12]. Esta técnica utiliza a contagem de fótons e o espectro de emissão fluorescente de um ou mais fluoróforos de uma substância para descrever a intensidade e características dessa emissão visível [13].

Os espectrofotômetros e colorímetros clínicos mostram-se precisos na seleção e controle da cor para comunicação com o laboratório mas não estão idealizados para analisar imagens com o fim de obter dados comparáveis e passíveis de tratamento estatístico [14].

A utilização de máquinas fotográficas digitais em Medicina Dentária tem tido uma crescente aplicação e relevância, tendo em conta a relativa facilidade da captura de imagens, armazenamento e manipulação de dados [15]. Além disto, os esquemas de calibração e montagem das máquinas em condições repetíveis são de comunicação fácil entre investigadores, sendo a sua utilização atrativa mesmo para utilizadores pouco experientes [16].

A fluorescência por análise de imagem digital utiliza a informação contida nos pixéis das imagens analisadas. A intensidade da fluorescência neste método é caracterizada pela luminosidade média dos componentes RGB (em escala de cinzentos) que compõe os pixéis de uma área a analisar, onde L^* representa a luminosidade da emissão fluorescente, a^* a coordenada de cor no eixo verde/vermelho e b^* no eixo azul/amarelo [17]. Esta representação tem a vantagem de poder caracterizar simultaneamente a luminosidade e a cor da emissão fluorescente, relacionando-a com

outras condições de luz a que o dente é sujeito. Este método permite comparar os resultados obtidos com os outros métodos instrumentais de avaliar a cor [18][19].

As técnicas de análise de imagens digitais de dentes para obtenção de dados no espaço de cor CIE L*a*b descritas na literatura baseiam-se ou em recortar uma área específica da imagem da amostra a analisar ou em delimitar uma área com uma ferramenta de um programa de imagem como o Adobe® Photoshop (Adobe systems Inc., San Jose, CA, EUA) [20]. Não obstante, este programa carece de ferramentas mais específicas para mapear o dente, para sobrepor digitalmente imagens e tornar o processo interoperador de análise reprodutível.

Este estudo tem o propósito de estudar a relação entre a fluorescência do esmalte, cor do dente e espessura de esmalte em dentes humanos através da análise de pixéis e um método de mapeamento 3D.

Materiais e Métodos:

Trinta e seis dentes naturais hígidos monorradiculares extraídos por motivos periodontais e/ou ortodônticos foram limpos (D-Lish® Prophy Paste, Young Dental, Canada) após respetivo desbridamento e armazenados em água destilada de grau 3, segundo a norma ISO 11405 de 2015. Esta investigação foi aprovada pela Comissão de Ética do Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal.

Cada dente foi fotografado num suporte preto plástico com silicone vinil polisiloxano (Virtual® Putty, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichenstein).

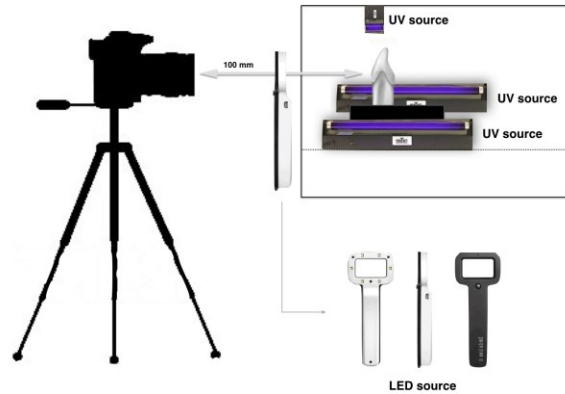


Figura 1: Relação espacial da câmara escura e do *setup* da câmera fotográfica.

Para o estudo foi construída uma câmara escura isenta de material refletivo ou fluorescente. Na figura 1 está descrito o esquema de montagem do dispositivo da experiência. A base da câmara escura foi dividida em três partes por duas lâmpadas de luz UV Licht AG (365 nm) (OSRAM, Munique, Alemanha) paralelamente colocadas. O espaço criado entre si distava 2 cm, no qual foram colocados dois componentes: um silicone plano com um encaixe para cada suporte plástico (capaz de deslizar entre as lâmpadas) e um stop plástico, de modo a definir uma distância focal fixa. A terceira lâmpada UV foi colocada na parte superior da câmara, perpendicularmente às outras duas lâmpadas, ficando à frente do local do suporte dos espécimes.

Para a aquisição das imagens foi utilizada uma máquina fotográfica DSRL Canon® EOS Mark II (Canon Inc., Tóquio, Japão) com uma lente Canon® EF 100 mm f/2.8L Macro IS USM Lens (Canon Inc., Tóquio, Japão), sem qualquer fonte de iluminação acoplada à máquina. A mesma foi fixada num tripé e este, por sua vez, colado ao chão. A distância da lente ao dente foi de 10 cm garantindo, desta forma, uma magnificação 1:1.

Uma barreira negra em silicone (Virtual® Putty, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) foi personalizada para impedir que a luz ultravioleta incidisse por

palatino.

Como fonte de luz adicional foi utilizado um dispositivo com seis luzes LED calibradas para uma temperatura de cor de 5500 K (Smile Lite®, Smile Line, St-Imier, Suíça). Sobre o dispositivo foi ainda aplicado um filtro polarizador. De forma análoga, o sensor da máquina foi configurado para interpretar a cor na mesma temperatura (5500 K).

A experiência foi executada com três diferentes condições de exposição: luz ultravioleta (UV), luz LED com filtro polarizador (LED) e luz LED com filtro polarizador combinado com luz ultravioleta (LEDUV). Todas as fotografias foram feitas com as mesmas configurações na máquina fotográfica.

Foi utilizado um cartão cinza (Graukarten®, B.I.G. & STEALEX GmbH, Alemanha) com 18% de refletância para calibrar os brancos e normalizar a exposição.

Foram efetuados três disparos a cada espécimen, em cada condição de exposição estudada, para que fosse possível obter uma média.

Os ficheiros RAW foram convertidos para ficheiros JPEG com o *software* integrado da máquina fotográfica. As imagens foram então recortadas através do *software* Adobe® Lightroom (Adobe systems Inc., San Jose, CA, EUA) e de seguida sobrepostas digitalmente utilizando o *software* de apresentação Keynote© (Apple Inc., Califórnia) e novamente exportadas como ficheiros JPEG. O perfil de cor do sistema operativo foi configurado para RGBs, garantido que a exportação de uma imagem não gerava alterações no seu perfil de cor. Para cada condição de exposição, as imagens foram controladas em áreas calibradas durante o processo de conversão utilizando o medidor de cor Digitalcolor Meter (OS X El Capitan, Apple Inc., Califórnia). A análise de cor das imagens nas três áreas específicas de cada dente foi realizada com o *software* ImajeJ32 (National Institutes of Health, Nova Iorque, EUA) –
Figura 2.

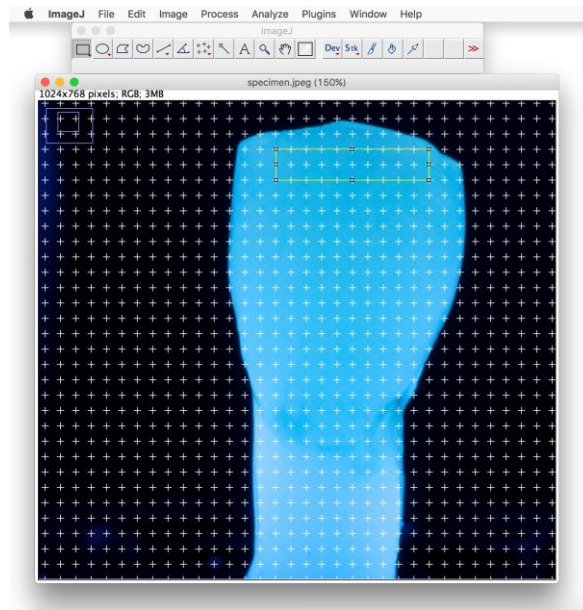


Figure 2: Análise de cor com o *software* ImageJ32.

Os dados desta análise foram obtidos como valores RGB médios, tendo sido posteriormente convertidos em coordenadas do espaço de cor CIEL*a*b*. A conversão de dados teve como iluminante de referência o D65 da CIE para o cálculo das coordenadas XYZ.

As coordenadas L*a*b* resultantes foram então utilizadas para calcular ΔE , ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Δa^* e Δb^* para cada condição de exposição utilizada, antes e após remoção do esmalte. Estes parâmetros foram calculados utilizando as seguintes fórmulas descritas pela CIE:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,1} - C^*_{ab,0} \quad \text{onde} \quad C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta H^*_{ab} = 2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0})^{1/2} \cdot \sin(\Delta h_{ab}/2)$$

$$\text{onde} \quad h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad \text{e} \quad \Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0}$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$

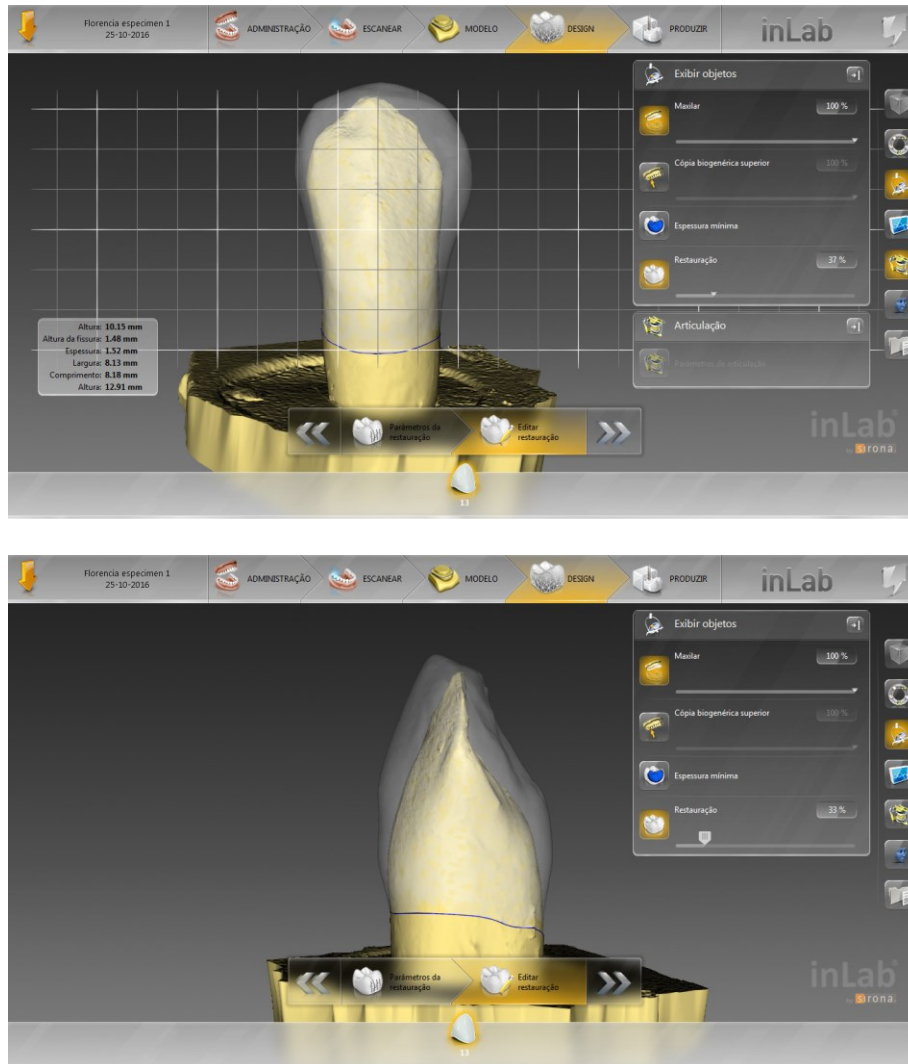


Figura 3 e 4: Ferramenta de mapeamento 3D utilizada para cada dente antes e após remoção química do esmalte, de forma a obter a sua espessura.

De modo a obter a espessura de esmalte de cada espécimen, todos os dentes foram primeiro digitalizados com um scanner de laboratório dentário (Ineos Blue Extra-Oral Scanner, Dentsply®, Sirona, Salzburgo). De forma a remover o esmalte, cada espécimen foi sujeito a um banho ultrassónico numa solução de ácido clorídrico a 30% durante 20 minutos. Os dentes foram lavados com água destilada e posteriormente

armazenados em água destilada tipo 3. Os núcleos dentinários resultantes foram digitalizados de forma análoga aos seus correspondentes intatos nos respectivos suportes personalizados. Um *software* CAD (Inlab SW15, Dentsply®, Sirona, Salzburgo) foi então utilizado para estabelecer uma correlação virtual entre as duas digitalizações para cada espécimen (figura 3 e 4). O algoritmo integrado do *software* utilizou pontos comuns da geometria dos suportes dos espécimenes na malha dos ficheiros STL como referência para uma correlação das imagens. O *software* Inlab CAD SW15 (Dentsply®, Sirona, Salzburgo) foi utilizado para mapear a espessura de esmalte nas mesmas áreas analisadas com o *software* de imagem descrito anteriormente.

Tabela I. Siglas com os seus respectivos significados nas diferentes condições de exposição em cada passo da experiência.

(Siglas)	(Definição)
UV(1)	Luz ultravioleta no dente intato
UV(2)	Luz ultravioleta no núcleo dentinário
LED(1)	Luz LED no dente intato
LED(2)	Luz LED no núcleo dentinário
LEDUV(1)	Luz ultravioleta combinada com luz LED no dente intato
LEDUV(2)	Luz ultravioleta combinada com luz LED no núcleo dentinário
L*	Luminosidade (escala de cinzentos)
a*	Eixo de cor vermelho/verde
b*	Eixo de cor amarelo/azul
ΔL^*	Diferencial de Luminosidade
Δa^*	Diferencial do valor de a*
Δb^*	Diferencial do valor de b*
ΔE	Diferencial de Cor
ΔC^*	Diferencial de Croma
ΔH^*	Diferencial de Matiz

Foi utilizada a correlação de *Pearson* para explorar possíveis recíprocas relações entre a espessura de esmalte, a fluorescência do esmalte e do dente e a cor do dente. A tabela 1 apresenta descrita as siglas que representam as diferentes condições de exposição em cada passo da experiência e o seu respetivo significado. Os seis

parâmetros de variação de cor foram correlacionados nas três diferentes condições de exposição: ΔE , ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Δa^* e Δb^* .

Todos os procedimentos experimentais foram realizados a 21°C.

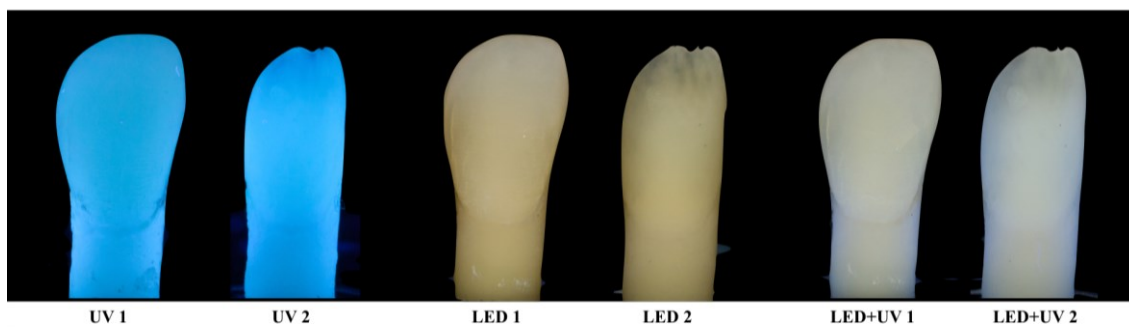


Figura 5: Da esquerda para a direita: UV₁ – *setup* de luz ultravioleta do dente intato; UV₂ – *setup* de luz ultravioleta do núcleo dentinário; LED₁ – *setup* de luz LED do dente intato; LED₂ – *setup* de luz LED do núcleo dentinário; LED+UV₁ – *setup* de luz LED combinada com luz UV do dente intato; LED+UV₂ – *setup* de luz LED combinada com luz UV do núcleo dentinário.

Resultados:

Tabela II. Espessura de esmalte e tipo de dente.

(Tipo de Dente)	Incisal	Médio	Cervical	Total
Incisivo	1.02	0.93	0.47	0.81
Canino	1.31	1.17	0.47	0.98
Pré-Molares	1.36	1.18	0.33	0.96
Média	1.23	1.09	0.43	0.91

n = 36

A correlação entre a distribuição média das espessuras de esmalte e do tipo de dente está presente na tabela II.

Dente intato

Relações com a espessura do esmalte

Tabela III. Espessura de esmalte e parâmetros de cor no dente intato em UV₍₁₎ e LEDUV₍₁₎.

(Espessura)	L* _{UV(1)}	ΔE	ΔL*	ΔC*	ΔH*	Δa*	Δb*
Área Incisal	$p < 0.05^* r = 0.396$	$p = 0.169 r = 0.234$	$p = 0.477 r = 0.122$	$p < 0.01^{**} r = 0.425$	$p = 0.92 r = -0.285$	$p = 0.813 r = -0.041$	$p < 0.05^* r = -0.375$
Área Média	$p < 0.05^* r = 0.401$	$p < 0.05^* r = 0.342$	$p = 0.230 r = 0.178$	$p = 0.338 r = 0.164$	$p < 0.05^* r = 0.013$	$p = 0.340 r = 0.164$	$p < 0.05^* r = -0.344$
Área Cervical	$p < 0.01^{**} r = 0.471$	$p < 0.05^* r = -0.338$	$p = -0.145 r = 0.399$	$p = 0.371 r = 0.154$	$p < 0.05^* r = 0.367$	$p = 0.115 r = -0.267$	$p < 0.05^* r = -0.346$
Área Total	$p = 0.181 r = 0.292$	$p = 0.546 r = -0.104$	$p = 0.454 r = -0.129$	$p = 0.263 r = -0.192$	$p = 0.798 r = 0.044$	$p = 0.788 r = 0.046$	$p < 0.05^* r = -0.374$

n = 36

As espessuras médias de esmalte da amostra foram: 1.2 mm no terço incisal, 1.06 mm no médio e 0.43 mm no cervical. A espessura média de esmalte total na amostra foi 0.94 mm.

Dos resultados apresentados na tabela III, os valores de L*_{UV(1)} e a espessura de esmalte não são variáveis dependentes, destacando-se apenas o terço médio ($p < 0.01$; $r = 0.401$). Relativamente aos diferenciais LEDUV₍₁₎-LED₍₁₎, entre ΔL* e Δa* vs espessura de esmalte não foram encontradas correlações. Destacam-se Δb* e ΔH' que apresentam correlações moderadas com a espessura do esmalte ($p < 0.01$; $r = 0.490$; $p < 0.01$; $r = -0.495$). ΔE apresenta correlações consistentes com a espessura de esmalte embora com coeficientes de correlação fracos em todas as áreas ($p < 0.01$; $r = -0.369$; $r = -0.377$).

Relações de cor

As correlações entre as condições de exposição UV₍₁₎ e LEDUV₍₁₎ estão descritas na tabela IV. De um modo geral, o tipo de dente é preditor de L*_{UV(1)} ($p < 0.01$).

Tabela IV. Correlações entre a fluorescência e o tipo de dente no dente intato ($UV_{(1)}$ e $LEDUV_{(1)}$).

(Correlação)	Tipo de Dente vs $L^*_{UV(1)}$	Tipo de Dente vs $a^*_{UV(1)}$	Tipo de Dente vs $b^*_{UV(1)}$
Área Incisal	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.541$	$p < 0.05^*$ $r = - 0.332$	$p = 0.256$ $r = - 0.194$
Área Média	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.474$	$p = 0.142$ $r = - 0.250$	$p = 0.428$ $r = - 0.136$
Área Cervical	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.435$	$p = 0.288$ $r = - 0.182$	$p = 0.940$ $r = - 0.013$
Área Total	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.488$	$p = 0.203$ $r = - 0.217$	$p = 0.346$ $r = - 0.162$

$n = 36$

Há pouca evidência na dependência das variáveis entre $L^*_{UV(1)}$ e $\Delta L^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$, enquanto que entre $a^*_{UV(1)}$ and $\Delta a^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$ as correlações são moderadas na região cervical do dente ($p < 0.01$; $r = 0.477$) e entre $b^*_{UV(1)}$ vs $\Delta b^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$ no terço incisal e médio ($p < 0.01$; $r = 0.418$ e $r = 0.488$, respetivamente). Não foram encontradas correlações entre $a^*_{UV(1)}$ e ΔE e ΔH . Por outro lado, $b^*_{UV(1)}$ apresenta correlação com $\Delta E_{LEDUV(1)-LED(1)}$ e $\Delta H'_{LEDUV(1)-LED(1)}$ no terço incisal ($p < 0.01$; $r = -0,449$; $p < 0.01$; $r = 0.494$).

Dente - núcleo

Relações com a espessura do esmalte

Tabelas V e VI. A tabela V e VI mostram as correlações com significado estatístico entre a espessura de esmalte dos espécimes e os parâmetros de cor nas condições de exposição $UV_{(2)}-UV_{(1)}$ e $LEDUV_{(2)}-LEDUV_{(1)}$, respetivamente.

(Espessura)	ΔE	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	Δa^*	Δb^*
Área Incisal	$p < 0.05$ $r = 0.307$	$p = 0.806$ $r = 0.042$	$p = 0.747$ $r = - 0.056$	$p = 0.114$ $r = 0.503$	$p = 0.439$ $r = -0.113$	$p < 0.05$ $r = - 0.365$
Área Média	$p < 0.01$ $r = 0.454$	$p < 0.05$ $r = - 0.420$	$p = 0.009$ $r = -0.279$	$p = 0.694$ $r = -0.068$	$p = 0.238$ $r = 0.163$	$p < 0.05$ $r = - 0.353$
Área Cervical	$p = 0.329$ $r = 0.168$	$p = 0.963$ $r = -0.008$	$p = 0.074$ $r = -0.301$	$p = 0.513$ $r = -0.113$	$p = 0.971$ $r = - 0.06$	$p = 0.071$ $r = - 0.305$
Área Total	$p = 0.460$ $r = 0.127$	$p < 0.05$ $r = - 0.289$	$p = 0.846$ $r = 0.034$	$p = 0.798$ $r = 0.044$	$p = 0.814$ $r = - 0.71$	$p = 0.879$ $r = 0.031$

$n = 36$

(Espessura)	ΔE	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	Δa^*	Δb^*
Área Incisal	$p = 0.708$ $r = 0.65$	$p = 0.595$ $r = -0.092$	$p = 0.616$ $r = -0.086$	$p = 0.688$ $r = -0.069$	$p = 0.603$ $r = -0.090$	$p = 0.776$ $r = -0.049$
Área Média	$p = 0.852$ $r = -0.32$	$p = 0.170$ $r = -0.234$	$p = 0.216$ $r = 0.211$	$p = 0.060$ $r = -0.316$	$p = 0.270$ $r = 0.189$	$p < 0.05^*$ $r = -0.335$
Área Cervical	$p = 0.868$ $r = -0.29$	$p = 0.353$ $r = 0.159$	$p = 0.570$ $r = 0.98$	$p = 0.708$ $r = 0.065$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.452$	$p = 0.476$ $r = 0.123$
Área Total	$p = 0.738$ $r = -0.008$	$p = 0.451$ $r = 0.130$	$p = 0.633$ $r = -0.082$	$p = 0.844$ $r = -0.034$	$p = 0.877$ $r = -0.027$	$p = 0.972$ $r = -0.006$

$n = 36$

Para os diferenciais $UV_{(2)}-UV_{(1)}$, a tabela V demonstra as correlações com significado estatístico entre a espessura de esmalte e as variações de ΔE , ΔL^* , $\Delta C'$, $\Delta H'$, Δa^* e Δb^* . A tabela VI mostra as correlações entre a espessura de esmalte e os diferenciais $LEDUV_{(2)}-LEDUV_{(1)}$. Dos parâmetros analisados em $UV_{(2)}-UV_{(1)}$, ΔE e ΔL^* apresentam uma modesta correlação entre a espessura do esmalte e o região do terço médio do dente (com valores de r inferiores a 0.46 para um $p < 0.01$). Δa^* , Δb^* e $\Delta C'$ não demonstraram relevância estatística. Relativamente aos diferenciais $LEDUV_{(2)}-LEDUV_{(1)}$ não foram encontradas correlações estatisticamente significativas com a espessura do esmalte.

Relações de cor

Tabelas VII e VIII. Valores $L^*a^*b^*$ da condição de exposição $UV_{(2)}-UV_{(1)}$. Correlações significantes dos parâmetros de cor entre as condições de exposição $UV_{(2)}-UV_{(1)}$ e $LED_{(2)}-LED_{(1)}$.

(Parâmetros de Cor)	L^*_1		L^*_2		a^*_1		a^*_2		b^*_1		b^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Área Incisal	61.91	27.39	56.68	37.67	-13.05	7.25	-4.42	21.15	-38.37	21.35	-46.02	24.9
Área Média	63.82	30.10	63.40	30.09	-14.52	15.73	-8.52	14.92	-37.27	23.54	-41.85	10.27
Área Cervical	67.17	26.33	64.67	24.52	-12.66	13.23	-6.97	18.25	-40.33	19.4	-47.48	18.96
Área Total	65.18	24.66	63.04	28.62	-12.69	9.69	-7.32	13.81	-39.52	14.66	-45.72	16.21

1 - UV1 2 - UV2

$n = 36$

(Parâmetros de Cor)	ΔE		ΔL		ΔC^*		ΔH^*		Δa^*		Δb^*	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Área Incisal	15.25	20.58	-5.23	27.27	-5.93	19.88	-9.96	19.4	8.62	18.29	-7.65	22.45
Área Média	14.43	92.26	-0.41	22.97	-5.39	24.41	-5.20	123.67	6.00	19.34	-4.57	126.26
Área Cervical	11.03	22.70	-2.50	20.98	-5.81	21.7	-7.10	17.22	5.69	16.31	-7.15	22.22
Área Total	10.74	10.06	-2.14	12.49	-4.91	18.30	-6.60	13.82	5.24	12.69	-6.19	19.30

n = 36

Na condição de luz UV houve diminuição de L^* em todas as áreas do dente quando se removeu o esmalte. Os valores médios de a^* aumentaram todos em $UV_{(2)}$, em contraste com os valores de b^* que se tornaram mais negativos ao longo do eixo do azul. Na condição de exposição $LED_{(1)}$, a média dos valores de L^* decresceu, exceto no terço médio. Na condição de exposição $LEDUV_{(1)}$ apresentou valores crescentes de L^* de incisal para cervical, sendo que houve uma discreta tendência para um aumento dos valores de L^* após remoção de esmalte. Além disso, a^* e b^* seguiram uma tendência negativa de $LEDUV_{(1)}$ para $LEDUV_{(2)}$.

A tabela VII contém a distribuição dos valores $L^*a^*b^*$ das condições de exposição $UV_{(2)}-UV_{(1)}$ e dos seus respectivos diferenciais calculados.

Relativamente aos diferenciais $UV_{(2)}-UV_{(1)}$, ΔL^* e ΔE apresentam o valor médio mais elevado no terço incisal (- 5.23 e 15.25, respetivamente), sendo que ΔE apresentou amplitudes consideráveis. Δa^* e Δb^* apresentam valores médios positivos e negativos, respetivamente para todas as áreas.

No que concerne a $LEDUV_{(2)}-LEDUV_{(1)}$, os valores de ΔL^* quase não apresentaram diferenças em todas as áreas estudadas. Pelo contrário, ΔE já apresentou valores superiores em média. Δa^* e Δb^* apresentaram valores negativos tendo sido Δb^* a apresentar valores de magnitude superior. Analisando os diferenciais $LED_{(2)}-LED_{(1)}$, ΔL^* apresentou valores médios negativos inferiores a 1 em todas as áreas – Tabela IX. De forma análoga ao acima descrito, os valores de ΔE foram superiores aos de ΔL^* e

decrecentes de incisal para cervical. Em semelhança, os valores médios de Δa^* diminuíram dos terços incisal para cervical com uma tendência negativa, enquanto que Δb^* revelou variações positivas em todas as áreas do dente.

Verificam-se múltiplas correlações estatisticamente significativas entre $UV_{(2)}$ - $UV_{(1)}$ e $LEDUV_{(2)}$ - $LEDUV_{(1)}$ para ΔE , ΔL^* , $\Delta C'$, $\Delta H'$, Δa^* e Δb^* (Tabela X). Destacam-se ainda ΔE_1 vs ΔE_2 , Δb^*_{1} vs ΔE_2 e Δb^*_{1} vs ΔC_2 .

Tabela X. Correlações dos Parâmetros de Cor entre $UV_{(2)}$ - $UV_{(1)}$ e $LEDUV_{(2)}$ - $LEDUV_{(1)}$.

(Correlação)	ΔE_1 vs ΔE_2	ΔL^*_1 vs ΔL^*_2	ΔL^*_1 vs ΔE_2	ΔC^*_1 vs ΔC^*_2	ΔH^*_1 vs ΔH^*_2
Área Incisal	$p = 0.08$ $r = 0.295$	$p < 0.05^*$ $r = 0.402$	$p = 0.079$ $r = -0.232$	$p = 0.00^{**}$ $r = -0.647$	$p = 0.368$ $r = 0.155$
Área Média	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.513$	$p < 0.05^*$ $r = 0.368$	$p < 0.05$ $r = 0.418$	$p = 0.91$ $r = -0.018$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.478$
Área Cervical	$p = 0.606$ $r = 0,089$	$p = 0.68$ $r = 0.308$	$p = 0.38$ $r = 0.151$	$p = 0.81$ $r = 0.042$	$p = 0.127$ $r = -0.259$
Área Total	$p = 0.00^{**}$ $r = 0.560$	$p < 0.05^*$ $r = 0.385$	$p < 0.01$ $r = 0.494$	$p < 0.05^*$ $r = 0.342$	$p = 0.00$ $r = -0.582$
	Δa^*_1 vs Δa^*_2	Δb^*_1 vs Δb^*_2	Δb^*_1 vs ΔE_2	Δa^*_1 vs ΔC^*_2	Δb^*_1 vs ΔC^*_2
Área Incisal	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.469$	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.562$	$p < 0.05$ $r = 0.334$	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.567$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.565$
Área Média	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.518$	$p < 0.05^*$ $r = -0.411$	$p < 0.01$ $r = 0.736$	$p = 0.530$ $r = 0.108$	$p < 0.05^*$ $r = -0.360$
Área Cervical	$p < 0.05^*$ $r = 0.418$	$p = 0.301$ $r = -0.177$	$p < 0.05$ $r = 0.367$	$p = 0.504$ $r = -0.115$	$p < 0.05^*$ $r = -0.354$
Área Total	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.547$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.532$	$p = 0.118$ $r = 0.265$	$p = 0.55$ $r = 0.103$	$p < 0.05^*$ $r = -0.412$

1 - $UV_{(2)}$ - $UV_{(1)}$ 2 - $LEDUV_{(2)}$ - $LEDUV_{(1)}$

$n = 36$

Discussão:

Ao encontro de uma melhor compreensão do âmbito do estudo, dividimos a análise em relação com o dente intato e com o núcleo dentinário, para todas as condições de exposição.

Dente intato - Cor

Para $L^*_{UV(1)}$ encontraram-se correlações moderadas de significado estatístico com o tipo de dente analisado, nos três terços do dente ($p < 0.01$; $r = 0.541$ incisal, $r = 0.474$ médio, $r = 0.435$ cervical, $r = 0.488$ total). A maioria dos incisivos ($n=12$) e pré-molares ($n=11$)

apresentaram valores intermédios de $L^*_{UV(1)}$. A maior luminosidade da fluorescência ($L^*_{UV(1)}$) foram caninos (n=2) e pré-molares (n=3). Foram os incisivos também que apresentaram menores valores de intensidade de fluorescência (n= 5). Apesar de na literatura não se encontrarem diferenças na fluorescência entre diferentes tipos de dente em indivíduos da mesma faixa etária [11], a fluorescência varia de intensidade com a idade. Sendo a amostra heterogénea no que respeita à idade, isso poderá explicar em parte a dispersão dos valores de L^* registados na amostra (tabela VII). Ainda assim, verificou-se um gradiente na intensidade da fluorescência do dente, crescente de incisal para cervical ($L^* = 61.91$, $L^* = 63.83$ e $L^* = 67.17$). Isto está de acordo com os dados prévios que a fluorescência do dente é dada principalmente pelo núcleo dentinário [21]. Os valores de $a^*_{UV(1)}$ e $b^*_{UV(1)}$ exibiram amplitudes médias consideráveis (15.73 e 23.74, respetivamente) em todo o dente, sendo que foi o terço médio o que apresentou maior amplitude. Estas variações significam que também relativamente à cor de fluorescência, azul e verde, existem variações importantes entre dentes da amostra no que respeita à emissão visível quando sujeito à radiação UV.

Tabela XI. Média e Amplitudes dos valores $L^*a^*b^*$ de LED e LED combinado com luz UV (LEDUV).

(Parâmetros de Cor)	L^*_1		L^*_2		a^*_1		a^*_2		b^*_1		b^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Área Incisal	66.11	13.12	68.92	15.10	-1.13	5.02	-2.83	4.39	14.30	25.41	6.41	28.56
Área Média	72.13	16.05	75.61	13.41	-1.72	6.05	-3.59	3.90	18.14	13.30	6.73	19.38
Área Cervical	73.08	18.48	77.49	16.11	-2.39	6.92	-3.72	5.86	23.07	18.31	3.53	19.24
Área Total	68.36	14.81	73.00	13.46	-1.50	6.05	-3.32	4.67	19.08	12.81	4.56	18.69

1 - LED 2 - LEDUV

n = 36

Ao analisar as componentes de cor do dente (tabela XI) na ausência de luz UV ($LED_{(1)}$) foi possível observar em média um gradiente de luminosidade, crescente de

incisal ($L^* = 66.11$) para cervical ($L^* = 73.08$). Ainda assim, verificou-se uma pequena diferença entre o terço cervical e o terço médio ($L^* = 72.13$). Ao combinar luz UV com LED foi possível verificar repercussões tanto na alteração de cor como num aumento de luminosidade em todas as áreas do dente (Tabela XI). No que respeita LEDUV₍₁₎-LED, as médias de ΔL^* e ΔE observadas na amostra foram maiores no terço cervical.

Especulamos que os efeitos da adição de UV se façam sentir mais onde o esmalte é mais fino. Para LEDUV₍₁₎-LED, a variação ΔE verificada na amostra deveu-se maioritariamente à contribuição de Δb^* (variação de azul), cerca de 3 vezes superior a Δa^* (variação de vermelho) na área total do dente, sendo que a maior variação se verificou no terço incisal, com uma maior variação observada no terço cervical. Os valores de ΔE e ΔL registados na tabela XI revelam que quando é adicionada luz UV à condição de exposição LED, as diferenças de luminosidade e de cor são em média acima do limite crítico para um qualquer observador identificar. Isto confirma que existem diferenças consideráveis em identificar a cor e o valor na presença ou ausência de uma fonte de luz que inclua uma componente UV [22].

Dente intato - Espessura

Existem várias metodologias descritas na literatura para estimar a espessura do esmalte humano. Com o aparecimento da radiologia 3D, a TAC e, mais recentemente, a microtomografia, foi possível estudar a relação de tecidos duros de forma conservadora [23], [24].

Neste estudo utilizou-se um método 3D, através da digitalização do dente intato e do núcleo dentinário, este último obtido a partir de um banho ácido que removeu o esmalte, macroscopicamente expondo a superfície topográfica da dentina.

As espessuras de esmalte encontradas nesta amostra são semelhantes ao reportado na literatura [24], [25]. Como esperado, o dente apresenta maior espessura de

incisal para cervical, sendo que os dentes que apresentaram maior espessura média de esmalte foram os caninos (1.08 mm), seguido dos pré-molares (0.96 mm). Das áreas analisadas, o terço incisal apresentou a maior amplitude de valores de espessura média, ao passo que o terço cervical apresentou a menor (Figura 6).

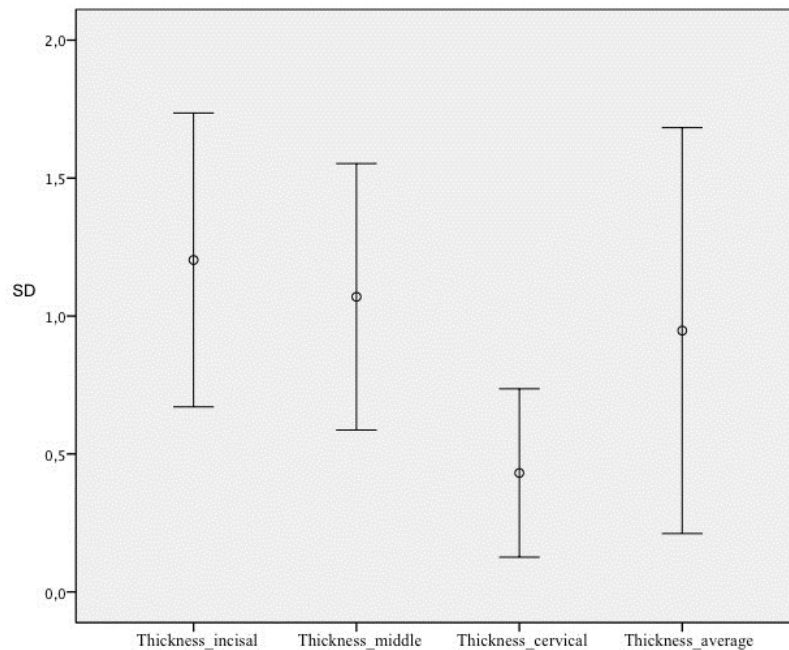


Figure 6: Espessura de esmalte nos três terços do dente.

Existe algum grau de correlação entre a luminosidade da fluorescência - $L^*_{UV(1)}$ - do dente intato e a espessura de esmalte nos terços incisal ($p < 0.05$; $r = 0.396$) e médio ($p < 0.01$; $r = 0.401$), não havendo correlação no terço cervical. De forma análoga, as correlações entre a espessura de esmalte e a intensidade de fluorescência são modestas: embora com dispersão elevada. Na figura 7, há uma tendência para uma variação negativa da luminosidade da fluorescência à medida que aumenta a espessura de esmalte no terço médio ($p < 0.05$; $r = -0.420$). Não obstante, $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$ seguiu uma tendência negativa em todas as áreas do dente, sendo que foi no terço incisal que o valor médio absoluto foi maior (-5.23) embora apresentando alta dispersão de valores.

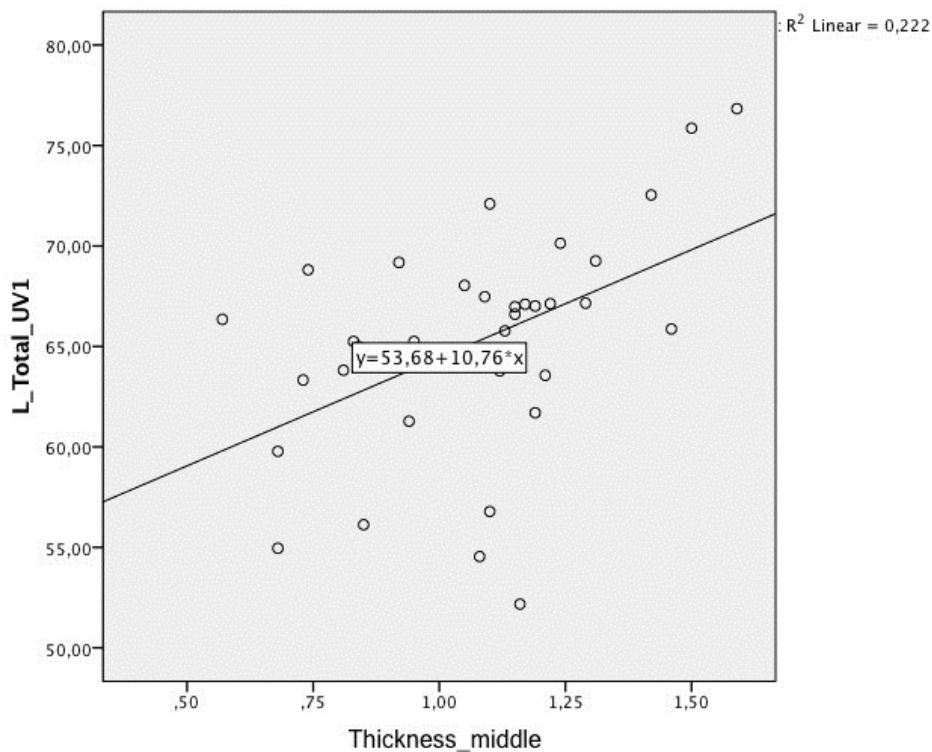


Figure 7: Este gráfico mostra uma tendência negativa para a variação da luminosidade de fluorescência com o aumento da espessura de esmalte no terço médio.

Relativamente à cor da emissão fluorescente do dente, parece existir uma tendência para um aumento de $\Delta E_{UV(2)-UV(1)}$ à medida que aumenta a espessura de esmalte no terço médio do dente ($p < 0.01$; $r = 0.454$); Δb^* , ΔH e ΔC^* já apresentam relações mais fracas ($p < 0.05$) no terço médio – Tabela V.

A relação entre a espessura do esmalte e variação da fluorescência estava pouco estudada. A fluorescência do esmalte depende da variação do seu conteúdo orgânico por um lado, e da organização dos cristais de hidroxiapatite, responsáveis pelo fenómeno de dispersão inelástica, em que a luz emitida tem um comprimento de onda inferior à radiação excitatória, e cujo coeficiente de dispersão aumenta com a diminuição do comprimento de onda [26]. Eimar, em 2011 concluiu que os parâmetros da cor do dente são influenciados pela variação da composição mineral do esmalte, tendo em conta o tamanho e o grau de carbonização dos cristais de hidroxiapatite (HA) [27]. Esta elevada

dispersão de valores encontrada nos diferenciais de ΔL^* e ΔE de $UV_{(2)}-UV_{(1)}$ pode ser parcialmente fundamentada. Não obstante, a direção de resultados nesta investigação indicam uma tendência semelhante à reportada por Tavares, de que um aumento na espessura implica maior fluorescência do esmalte [28].

Dente-Núcleo – Cor

Quando se combinou luz LED e UV, foi possível verificar que os efeitos da remoção do esmalte na luminosidade do dente são em média pouco perceptíveis (tabela IX). Os valores médios de $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ situaram-se todos abaixo de 1, tendo sido negativa a variação média no terço cervical (-0.92) e positiva no terço incisal e médio. A maior amplitude de valores verificou-se no terço incisal (min. -7.61, máx. 8.95), tendo sido a amplitude total menor (-2.94 a 5.87).

Tabela IX. Média e Amplitudes dos Parâmetros de Cor no *setup* de condição de exposição LED combinada com luz UV (LEDUV).

(Parâmetros de Cor)	ΔE_1		ΔE_2		ΔL^*_1		ΔL^*_2		ΔC^*_1		ΔC^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Área Incisal	5.66	10.26	6.47	16.68	0.41	16.56	-1.08	16.26	-0.34	12.61	-3.84	20.19
Área Média	4.55	13.40	5.68	10.73	0.71	10.95	-0.02	10.99	0.38	13.43	-4.25	16.77
Área Cervical	4.42	13.83	3.65	8.02	-0.92	12.59	-0.60	12.75	0.69	13.50	-1.44	13.66
Área Total	3.99	12.79	5.38	34.97	0.46	8.92	-0.44	13.45	0.43	6.34	-3.34	13.96
(Parâmetros de Cor)	ΔH^*_1		ΔH^*_2		Δa^*_1		Δa^*_2		Δb^*_1		Δb^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Área Incisal	-1.20	17.64	-2.17	5.23	-0.96	4.77	-2.07	4.36	-0.30	18.88	3.45	20.28
Área Média	-2.40	17.56	-1.82	5.56	1.11	4.99	-1.97	3.03	-1.84	20.47	3.91	17.17
Área Cervical	-1.63	26.47	-1.61	2.91	1.88	12.53	-1.51	2.54	-2.39	14.11	1.21	13.65
Área Total	-2.27	17.20	-0.92	40.78	0.87	3.92	-1.35	23.47	-1.99	17.17	1.89	38.34

1 - LEDUV2-LEDUV1 2 - LED2-LED n = 36

Bosch em 1995 sugeriu que o esmalte pudesse desempenhar um papel na luminosidade do dente através da translucidez controlando a influência cromática do

núcleo dentinário [29]. Bin Yu, em 2009 descreveu que o parâmetro de translucidez de esmalte difere pouco do da dentina, sendo que seria a espessura relativa entre os dois e as suas diferenças de parâmetros CIEL*a*b* os responsáveis pelo controle da luminosidade do dente [30]. No entanto, nesta investigação, não existem correlações estatisticamente relevantes entre a espessura de esmalte $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$. Este achado está de acordo com os resultados do estudo de Oguro em 2016, reforçando a ideia de que a translucidez do esmalte exerce pouca influência no controle da luminosidade do dente [31]. Foi também sugerido que a dispersão de luz no esmalte pudesse influenciar a luminosidade do dente, no entanto, as regressões são inconclusivas [29]. Da mesma forma, não foi encontrada relação entre ΔL^* e o seu índice de refração após remoção completa do esmalte [29], [31].

A fluorescência aumenta a luminosidade do dente, adicionando luz azul-esbranquiçada ao dente. Sabe-se que o índice de fluorescência do esmalte é inferior ao da dentina, sendo esta última a maior responsável pelas alterações de cor provenientes da fluorescência [32]. Bosch também sugeriu que a fluorescência do esmalte exerce pouca influência na cor do dente [29]. Não obstante, encontramos correlações estatisticamente significativas ($p < 0.05$) entre $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$, embora pouco fortes nos terços incisal ($r = 0.402$) e médio ($r = 0.430$) sugerindo algum grau de dependência entre a variação de luminosidade da fluorescência do esmalte e a variação da luminosidade do dente, quando se perde o esmalte.

Com luz LED, a variação de luminosidade do dente $\Delta L^*_{LED(2)-LED(1)}$ também teve efeitos abaixo do limite visual crítico após remoção de esmalte. Apesar disso, a direção de mudança do valor médio de ΔL^* é diferente em todas as áreas, sendo que $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ apresenta variações positivas ao contrário de $\Delta L^*_{LED(2)-LED(1)}$ que apresenta variações negativas (Tabela IX), reforçando os resultados encontrados na correlação de *Pearson*.

Em resumo, o dente na presença de luz UV fica em média mais luminoso quando se perde o esmalte, ao passo que sem luz UV o núcleo dentinário tem em média menos valor que o dente intato.

Relativamente à croma, ΔC^* também variou de forma distinta na presença e ausência de luz UV. $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ foi em média ligeiramente positivo exceto na área incisal (-0.34). $\Delta C^*_{LED(2)-LED(1)}$ foi em média negativo em todas as áreas do dente, sempre inferiores aos valores encontrados em $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$. Outro achado é que a amplitude de valores de ΔC^* na amostra é consideravelmente mais estreita com luz UV do que sem, chegando a primeira, na área total do dente, a ser em média metade da segunda (6.34 vs 13.96). Também na área incisal, onde o esmalte é mais espesso, esta diferença na amplitude de valores de ΔC^* com e sem UV é notória (Tabela IX). Tal significa que um dente que seja mais fluorescente possa tornar-se mais cromático que outro menos fluorescente quando perde esmalte. Foi reportado que com o envelhecimento, existe um aumento na croma do dente, à custa de modificações principalmente ocorridas no núcleo dentinário acompanhado de uma subida na intensidade da fluorescência, concomitante com a perda natural de volume de esmalte [21]. Zhongua em 2013, reportou também uma relação entre a intensidade de fluorescência e a variação de croma na dentina [33]. Neste presente estudo, entre $\Delta C^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ encontramos uma correlação negativa ($r = -0.470$) estatisticamente significativa no terço incisal ($p < 0.01$; $r = -0.647$) e na área total do dente ($p < 0.05$). Este achado sugere que onde o esmalte é mais espesso, pode existir uma relação entre a emissão fluorescente do dente e a sua variação de croma, uma vez removido o esmalte. Por outro lado, Bosch especulou que a espessura de esmalte está relacionada com a translucidez do esmalte de forma a controlar a influência cromática da dentina na aparência natural do dente [29].

No entanto, nesta amostra não foram encontradas correlações entre a espessura de esmalte e $\Delta C^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$.

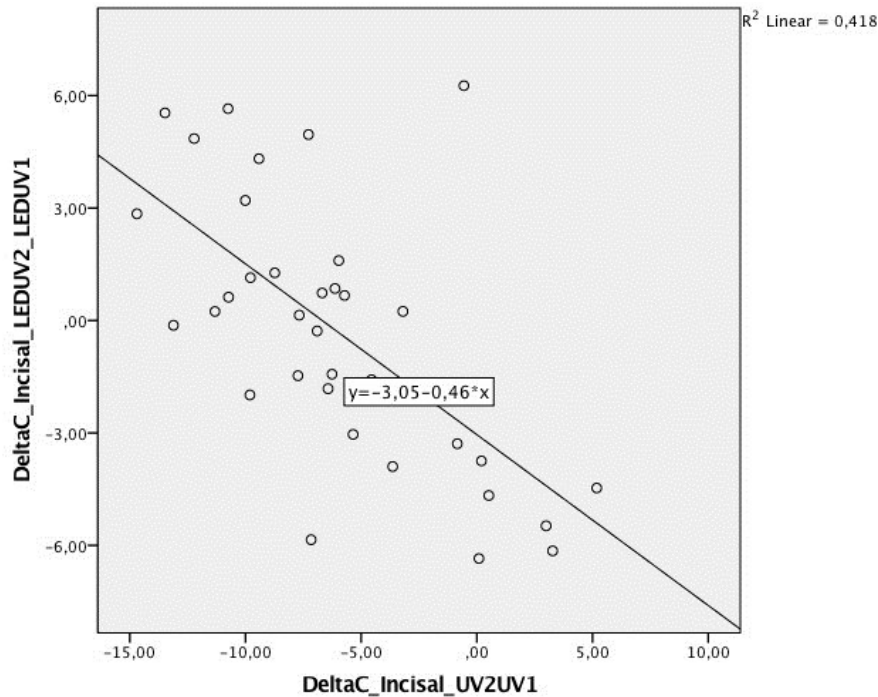


Figure 8: Este gráfico sugere a relação entre a fluorescência e a croma do dente quando o esmalte é removido.

$\Delta a^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta b^*_{UV(2)-UV(1)}$ também são fortes preditores de $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$, principalmente no terço incisal do dente ($p = 0.00$; $r = 0.567$ e $p = 0.00$; $r = 0.565$), sugerindo que onde o esmalte é mais espesso e a dentina menos predominante existem variações de croma no dente em parte atribuídas às características de cor da fluorescência modeladas pela influencia do esmalte (figura 8). Estes achados contrariam parcialmente os encontrados noutro estudo [29].

Sabe-se que o esmalte exerce uma influência subtil mas perceptível no controlo da cor e translucidez do dente [34]. Na amostra analisada, $\Delta E_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ apresentou valores médios absolutos acima do limite crítico (2.3) em todas as áreas analisadas:

92% dos espécimes em incisal, 86% no médio, 73% no cervical e 81% na área total do dente. Estes valores são comparáveis a outros previamente reportados [31].

Paralelamente, a variação de $\Delta E_{LED(2)-LED(1)}$ também apresentou valores acima do limite crítico comparáveis em geral aos valores de $\Delta E_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$, embora em média ligeiramente superiores em todas as áreas. Seria de esperar que: se a fluorescência do esmalte tivesse um grande impacto na cor do dente, o ΔE com UV seria estatisticamente superior ao mesmo sem UV. Isto confirma os resultados de outros estudos sugerindo que a influência da fluorescência na cor do dente é limitada [29].

Não obstante, encontramos fortes correlações ($p = 0.00$; $r = 0.560$) entre $\Delta E^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta E^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ com o terço médio. $\Delta a^*_{UV(2)-UV(1)}$ e $\Delta b^*_{UV(2)-UV(1)}$ também se relacionaram estatisticamente com $\Delta a^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ e $\Delta b^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$, tendo este último apresentado uma forte correlação com ΔE ($p < 0.01$; $r = 0.736$). Estudos prévios reportaram que grande parte das alterações de cor verificadas quando se removia o esmalte provinham principalmente da variação dos valores de Δb^* [29], [31]. Outro estudo sugere uma possível relação na forma em como varia a cor do dente, entre a fluorescência e a opalescência do esmalte, tendo em conta que existe também uma relação estatisticamente forte de dependência entre Δb^* e o parâmetro de opalescência (PO) quando se remove o esmalte do dente natural [35]. O fato de que tanto a opalescência do esmalte como a fluorescência dizem respeito a fenômenos de transmissão de luz, a sua relação na modulação da cor do dente pode estar subestimada.

É observável uma diferença entre o desvio de azul (Δb^*) e vermelho (Δa^*) na presença ou ausência de luz UV. Na ausência de luz UV, $\Delta b^*_{LED(2)-LED(1)}$ assumiu valores positivos em todas as áreas do dente, destacando-se o terço incisal e médio, onde a espessura do esmalte é maior. Por outro lado, $\Delta b^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ apresenta em média valores negativos (um desvio para o azul). $\Delta a^*_{LED(2)-LED(1)}$ assume um desvio mais

acentuado para o verde ($\Delta a^*_{\text{total}} = -1.35$). Foi encontrada uma correlação estatisticamente assinalável entre $\Delta H_{\text{UV}(2)\text{-UV}(1)}$ e $\Delta H_{\text{LEDUV}(2)\text{-LEDUV}(1)}$ ($p = 0.00$; $r = 0.704$) confirmando as relações supramencionadas com Δa^* e Δb^* .

Ainda que algumas correlações estatisticamente significantes tenham sido encontradas em relação aos parâmetros da cor nas mesmas áreas do dente, não foi possível encontrar relação entre a espessura do esmalte e ΔE e ΔH na condição de exposição LEDUV.

Conclusões:

Podemos concluir que a fluorescência do esmalte apresenta correlação com a cor e croma do dente tendo uma sutil influência quando o esmalte é removido. Ainda assim, a remoção de esmalte influencia a cor do dente acima do limite visual crítico.

A fluorescência do esmalte tem algum grau de correlação com a variação da espessura de esmalte.

A fluorescência e a opalescência do esmalte podem estar relacionadas através da modulação da cor do eixo de azul na percepção visual do núcleo dentinário subjacente.

As metodologias de análise digital da cor do dente utilizadas neste estudo para caracterizar a espessura de esmalte são de fácil execução e reprodutíveis, e os resultados são comparáveis aos de outras técnicas descritas.

Referências Bibliográficas:

- [1] Magne P, Belser U, Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. *Quintessence Publishing Co, Inc.*, 2002
- [2] Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, et al. A review of tooth colour and whiteness. *J*

Dent. 2008;36:2–7

- [3] Vimal K, Sikri J, Color: Implications in dentistry. *Conserv Dent.* 2010;13:249-255
- [4] Melo TM, Kano P, Avaliação e reprodução cromática em dentisteria operatória: parte 1 - o mundo das cores. *J Braz Dent.* 2005;1:95-104
- [5] Ferreira A, Metamerismo: análise de influência do iluminante no comportamento da cor de dentes naturais e materiais estéticos. *Faculdade de Odontologia da USP*, 2002
- [6] Fondriest J, Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23:467–479
- [7] Banerjee A, Cook R, Kellow S, et al. A confocal micro-endoscopic investigation of the relationship between the microhardness of carious dentine and its autofluorescence. *Eur J Oral Sci.* 2010; 118:75–79
- [8] Tani K, Watari F, Uo M, et al. Fluorescent Properties of Porcelain-Restored Teeth and Their Discrimination. *Mater Trans.* 2004;45:1010–1014
- [9] Zolotarev VM, Grisimov VN, Architectonics and optical properties of dentin and dental enamel. *Opt Spectrosc.* 2001;90:753–759
- [10] Altshuler GB, Optical model of the tissues of the human tooth. *J Opt Technol.* 1995;62:516–520
- [11] Matsumoto H, Kitamura S, Araki T, Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperatura measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Arch Oral Biol.* 1999;44:309–318
- [12] Matsumoto H, Kitamura S, Araki T, Applications of fluorescence microscopy to studies of dental hard tissues. *Front Med Bio Eng J.* 2001;10:269–284
- [13] Gakamsky DM, Dhillon B, Babraj J, et al., Exploring the possibility of early

- cataract diagnostics based on tryptophan fluorescence. *J R Soc Interface* 2011;8:1616–1621
- [14] Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD, Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent*. 2010;38
- [15] Vela D, Dipika B, Digital Dental Photography: A Contemporary Revolution. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2013;6:193–196
- [16] Bengel WM, Digital photography and the assessment of therapeutic results after bleaching procedures. *J Esthet Restor Dent*. 2003;15:21-32
- [17] Bureau Central de la CIE, CIE-Colorimetry *CIE (supplement nr. 21)*, Paris, 1978; 15-30
- [18] Cal E, Güneri P, Kose T, Comparison of digital and spectrophotometric measurements of colour shade guides. *J Oral Rehabil*. 2006;33:221–228
- [19] Weea AG, Lindsey DT, Delwin T, et al., Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater J*. 2006;22:553–559
- [20] Analoui M, Papkosta E, Cochran M, et al., Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent*. 2004;92:371–376
- [21] Lee YK, Fluorescence properties of human teeth and dental calculus for clinical applications. *J Biomed Opt*. 2015;20:040901
- [22] Panzeri H, Fernandes LT, Minelli CL, Spectral fluorescence of direct anterior restorative materials. *Aust Dent J*. 1977;22:458–461
- [23] Swain M, Xue J, State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research. *Int J Oral Sci*. 2009;1:177–188
- [24] Feeney R, Zermeno JP, Reid DJ, et al. Enamel thickness in Asian human canines and premolars. *Int J Oral Sci*. 2010;118:191–198
- [25] Kedici P, Atsu S, Gokdemir Y, et al. Micrometric measurements by scanning

- electron microscope (SEM) for dental age estimation in adults. *J Forensic Odonto-Stomatology* 2000;18:22–26
- [26] Jiang T, Ma X, Wang Y, et al. Investigation of the effects of 30% hydrogen peroxide on human tooth enamel by Raman scattering and laser-induced fluorescence. *J Biomed Opt.* 2008;13:14–19
- [27] Oguro R, Nakajima M, Seki N, et al. The role of enamel crystallography on tooth shade. *J Dent.* 2011;39:1–3
- [28] Tavares C, Tavares L, Correia A, et al., Effect of thickness on fluorescence of resin-composites and dental substrates. *Braz Dent J.* 2016;19:53–58
- [29] Bosch JJ, Coops JC, Tooth Color and Reflectance as Related to Light Scattering and Enamel Hardness. *J Dent Res.* 1995;74:374–380
- [30] Bin Y, Ahn J-S, Lee YK, Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand.* 2009;67:57-64
- [31] Oguro R, Nakajima M, Seki N, et al. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. *J Dent.* 2016;51:36–44
- [32] Winter R, Visualizing the natural dentition. *Int J Esthet Dent.* 1993;5:103-107
- [33] Liang SS, Jiang T, Wang TN, Effect of hydrogen peroxide with different pH values on the color, translucency and laser-induced fluorescence of human dentin. *Chin J Stomatology* 2013;48:453-457
- [34] Brodbelt R, O'Brien WJ, Fan PL, et. al. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res.* 1981;60:1749–1753
- [35] Lee YK, Yu B, Measurement of opalescence of tooth enamel. *J Dent.* 2007;35:690-694

Fluorescence, enamel thickness and tooth color: optical relation through digital imaging

Sara Moraes Pereira

Dental Student, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

saraappereira@hotmail.com

João T Fonseca, DMD, MSc

Private Practice, Tomar, Portugal

joaofalcao81@msn.com

José Alexandre Reis, DMD, MSc

Oral Rehabilitation Department, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

jreis@egasmoniz.edu.pt

Francisco Carvalho, PhD

Dean, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, Portugal

fpcarvalho@ipt.pt

Paulo Maurício, DMD, PhD

Oral Rehabilitation Department, Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal

pmauricio@egasmoniz.edu.pt

Fluorescence, enamel thickness and tooth color: optical relation through digital imaging

Objective: The aim of this study was to measure the possible relation between enamel fluorescence, tooth color and the enamel thickness in human teeth.

Material and methods: 36 human teeth were attached to a fixed positioning system comprising three distinct lighting setups: UV light, LED light and UV combined with LED light. Three photographs of each tooth were taken under each lighting setup.

Teeth were scanned (Ineos Blue Extra-Oral Scanner) and photographed before and after a selective enamel acid immersion in order to calculate its thickness through 3D spacial superposition of the enamel outer shell and dentin core.

Color analysis on the cervical, middle, incisal and total areas was performed using the ImajeJ32 to measure mean RGB data, which were then converted into CIEL*a*b* color space coordinates. Color and exposure differentials were calculated for the three lighting setups and then statistically compared for reciprocal relationships.

Results: For UV₍₁₎, enamel thickness is a fair predictor of ΔL^* ($p < 0.05$) and ΔE ($p < 0.01$). For UV vs LEDUV, strong correlations were found between ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* and ΔH ($p = 0.01$). Enamel thickness is a fair predictor of $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta E_{UV(2)-UV(1)}$ ($p < 0.05$). Enamel thickness was not a statistically significant predictor of LEDUV color differentials.

Conclusions: Enamel thickness is moderately correlated to enamel fluorescence. Enamel removal influences tooth color above the visual perception threshold. Enamel fluorescence is correlated to tooth color but has a subtle influence in tooth color changes when enamel is removed.

Keywords: enamel thickness; fluorescence; CIEL*a*b*; digital imaging; human teeth

Introduction:

Understanding how light and teeth interact paves the way to materials one step closer to nature [1]. The phenomenon of visual perception strongly determines the esthetic integration of a restoration [2], [3].

Color represents a response of the human brain to the relation between a light stimulus and its interpretation by three different types of the photoreceptors in the retina [4]. Therefore, two different materials may look similar as long as they are able to produce an equal visual stimulus [5].

Natural teeth and artificial materials interact with different light sources. Sunlight has a large spectral distribution which determines a multitude of optical responses from the dental hard tissues [3]. It is important to investigate how the natural teeth irradiate under different light sources. Isolating and combining these light sources is also a powerful tool to understand how each part of spectrum contributes for tooth color under a given set of conditions. Teeth are natural fluorescent structures that, when exposed to UV light, emit a visible blue radiation that adds up to the other wavelengths that teeth already reflect, making them whiter and brighter [6]. This property changes the observer's visual perception phenomena during tooth's color assessment.

Understanding the way that natural teeth exhibit fluorescence has been applied to forensic sciences and offers multiple applications for diagnostic and restorative procedures in dentistry, both with composite resin and dental ceramic materials [7], [8].

Teeth also behave as a modified optical fiber which exhibits internal luminous scattering [9]. Each point on the enamel surface is directly connected to a point on the surface of the pulp chamber. Maintaining the macrostructure and hard tissue spatial arrangement during the *in vitro* experiments guarantees that the light interactions within the tooth are observed [10].

Steady-state and dynamic state spectrofluorimetry are amongst the most described techniques for the study of human enamel and tooth fluorescence [11]–[13]. It relies on photon count and the fluorescent emission spectrum of one or more fluorophore substances to describe the intensity and characteristics of the emitted radiation [13].

Clinical spectrophotometers and colorimeters are an accurate tools for color control and selection for the purpose of communication with the dental laboratory, but are not designed to manipulate images for obtaining comparable and middling data for statistical analysis [14].

Digital photography has been thriving its relevance in Dental Medicine because it is quite easy to capture, store and manipulate the data [15]. Furthermore, calibration parameters and machinery assembly setups are easy to communicate amongst researchers or less experienced users, making experiments simpler to perform, replicate and improve [16].

The study of dental fluorescence with digital imaging uses the information contained in the pixels of the analyzed images. The fluorescence intensity in this method is characterized by the RGB luminosity components (gray scale) that compose the pixels of an area to be analyzed. Moreover, it is possible to convert the RGB data to CIEL*a*b* color space, where L* represents a fluorescent luminosity emission, a* represents a color coordinate on the green/red axis, and b* represents a color coordinate on the blue/yellow axis [17]. This representation takes the advantage of simultaneously characterize the luminosity and the color of the fluorescent emission, relating it to other light conditions to which the tooth is subject. This method allows to compare the collected data with the reference threshold values to investigate the impact that optical differences have on the observer's visual perception [18], [19].

Image analysis techniques of teeth for obtaining CIEL*a*b* data described in the literature are based on either cropping an image to a specific sample size to analyze pixel information or delineate an area using a tool function of an image program such as Adobe® Photoshop (Adobe systems Inc., San Jose, CA, USA) [20]. Nevertheless, this type of program lacks more specific tools for mapping the tooth, for overlaying digital images and for making the analytic procedure a reproducible task between researchers.

The aim of this study was to measure the possible relation between enamel fluorescence, tooth color and the enamel thickness in a natural teeth with pixel analysis and 3D mapping.

Material and Methods:

Thirty six caries-free single root teeth extracted for periodontal or orthodontic reasons were debrided, cleaned (D-Lish® Prophy Paste, Young Dental, Canada) and stored in type 3 distilled water, in accordance with ISO 11405:2015. This investigation was approved by the Ethical Committee of Instituto Superior Ciências da Saúde Egas Moniz, Almada, Portugal.

Each tooth was photographed on a black plastic holder with a putty vinyl polysiloxane fit (Virtual® Putty, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

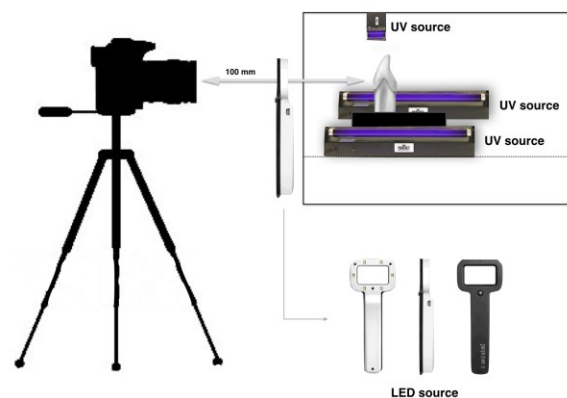


Figure 1: Spatial relation of the dark chamber and camera setup.

A dark chamber with neither reflective nor fluorescent properties was constructed for this investigation. The assembly schematic of the experimental device is depicted in Figure 1. The base of the chamber was divided in three by two parallel UV lamps Licht AG (365 nm) (OSRAM, Munich, Germany). The space between the lamps was 2 cm and in it two components were set: a flat silicone with a snap on fixture for each of the plastic holders (capable of sliding in between the lamps) and a plastic stop, for setting a fixed focal distance. A third UV lamp was placed on the top of the chamber, perpendicular to the other two lamps, ahead of the plastic stop.

A DSRL Canon® EOS Mark II (Canon Inc., Tokyo, Japan) camera with a Canon® EF 100 mm f/2.8L Macro IS USM Lens (Canon Inc, Tokyo, Japan), with no coupled light source was used. The camera rig was mounted on a tripod with its legs securely glued to the floor. The distance from the lens to the teeth was 10 cm as to assure a 1:1 magnification ratio.

A custom black silicone block (Virtual® Putty, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) was fabricated to wrap around the UV lamps and placed in the posterior aspect of the plastic holder to block the UV light from the palatal side of the tooth.

A six lamp LED device with a color temperature of 5500 K and a polarizer filter (Smile Lite®, Smile Line, St-Imier, Swiss) was used as an external light source. The DSLR camera settings were calibrated for the same color temperature (5500 K).

The experiment was made under three different lighting conditions: ultraviolet (UV), LED with polarizer filter (LED) and LED + UV with polarizer filter (LEDUV). All photos were taken with the same camera settings.

In order to standardize the color balance and image exposure, a gray card with a reflectance index of 18% was used (Graukarten® B.I.G. & STEALEX GmbH, Germany).

Three photographs were taken for each tooth in each one of the illumination setups, so that an average could be made.

The RAW files obtained from the photographic series were converted to JPEG files with the camera built in software. Afterwards, the images were cropped using the Adobe® Lightroom Software (Adobe systems Inc., San Jose, CA, USA), superimposed using the Keynote© (Apple Inc., California) software and again exported as JPEG files. The OS color profile was set to sRGB so that whenever an image was exported to a new JPEG file its color properties remained unchanged. For each lighting setup, an image was evaluated in between the conversion process with the Digitalcolor Meter tool (OS X El Capitan, Apple Inc., California). A color analysis of three specific areas in each tooth was performed using the ImajeJ32 software (National Institutes of Health, New York, USA) – Figure 2.

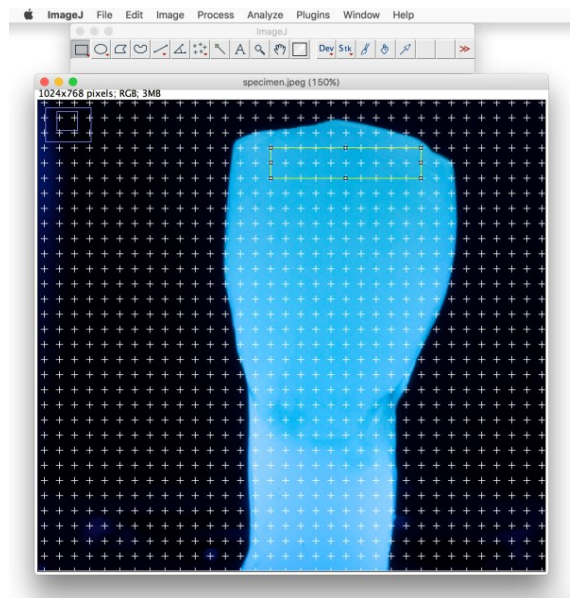


Figure 2: Analysis using ImageJ32 software.

The average RGB values obtained for each specimen area were then imported to a spreadsheet, where they were converted into CIEL*a*b* color space coordinates. This

conversion had the CIE D65 illuminant as a reference for the XYZ coordinate calculation.

The resulting $L^*a^*b^*$ coordinates were then used to calculate ΔE , ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Δa^* and Δb^* in each lighting setup, with and without enamel. These parameters were calculated using CIE formulas as follows:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

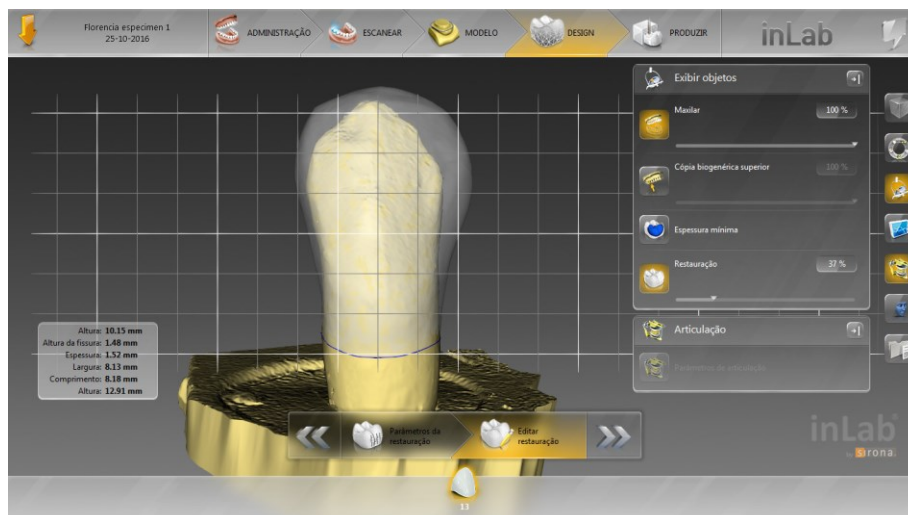
$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,1} - C^*_{ab,0} \quad \text{where} \quad C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta H^*_{ab} = 2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0})^{1/2} \cdot \sin(\Delta h_{ab}/2)$$

$$\text{where} \quad h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad \text{and} \quad \Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0}$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$



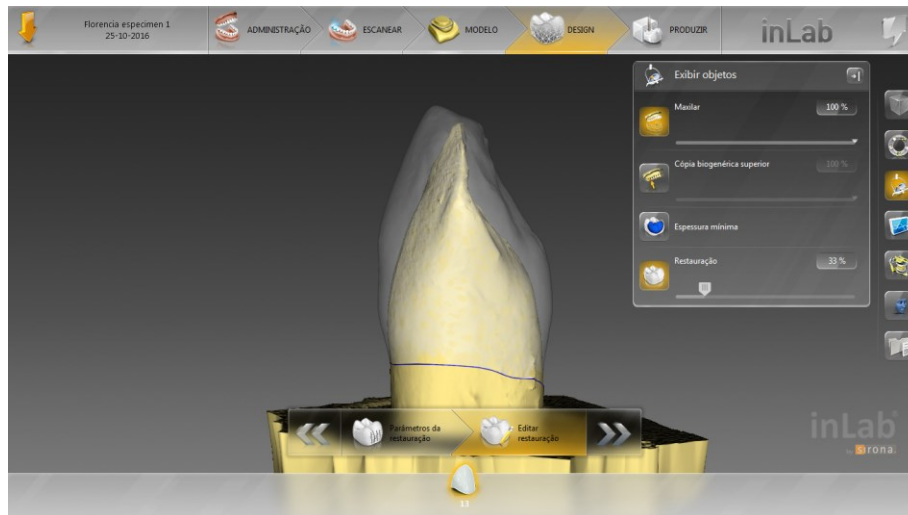


Figure 3 and 4: 3D mapping tool that was used in each tooth before and after enamel removal in order to obtain its thickness.

In order to find out the thickness of enamel, each tooth was scanned using a laboratory dental scanner (Ineos Blue Extra-Oral Scanner, Dentsply®, Sirona, Salzburg). The enamel from the specimens was chemically removed using a 30% chloridric acid solution combined with ultrasounds for 20 minutes. The teeth were then rinsed with distilled water and again stored in type 3 distilled water. The resulting dentin cores were again scanned in their respective holders. A CAD software (Inlab SW15, Dentsply®, Sirona, Salzburg) was then used to make a virtual correlation between the two scans of each tooth (figure 3 and 4). The software algorithm used the holder geometry as a reference for correlating the mesh in the STL paired files. Inlab SW15 CAD (Dentsply®, Sirona, Salzburg) software was then utilized to map the enamel thickness in the same areas analyzed with the image software described before.

Table I. Keywords that represent different light conditions in each step of the experiment and their meaning.

(Acronyms)	(Meaning)
UV ₍₁₎	Ultraviolet light on intact tooth
UV ₍₂₎	Ultraviolet light on dentin core
LED ₍₁₎	LED light on intact tooth
LED ₍₂₎	LED light on dentin core
LEDUV ₍₁₎	Ultraviolet light combined with LED light on intact tooth
LEDUV ₍₂₎	Ultraviolet light combined with LED light on dentin core
L*	Lightness (gray scale value axis)
a*	Red/green color axis
b*	Yellow/blue color axis
ΔL^*	Lightness differential
Δa^*	a* value differential
Δb^*	b* value differential
ΔE	Color Differential
ΔC^*	Chroma differential
ΔH^*	Hue differential

Pearson correlation was used to explore possible reciprocal correlations between enamel thickness, enamel and tooth fluorescence and color. Table I lists the keywords that represent different lighting setups in each step of the experiment and their meaning. The six color parameters were analyzed for all three lighting setups: ΔE , ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Δa^* e Δb^* .

All procedures were conducted at 21°C.

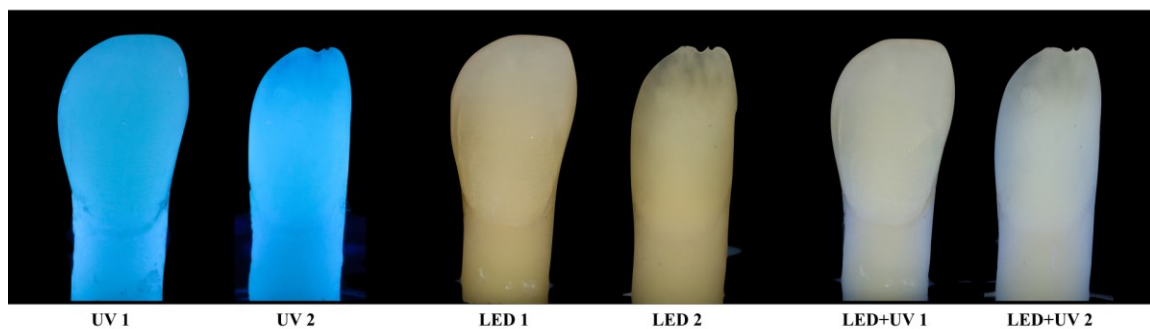


Figure 5: From left to right: UV₁ – ultraviolet lighting of the intact tooth; UV₂ – ultraviolet lighting of the dentin core; LED₁ – LED lighting of the intact tooth; LED₂ –

LED lighting of the dentin core; LED+UV₁ – LED combined with UV lighting of the intact tooth; LED+UV₂ – LED combined with UV lighting of the dentin core.

Results:

The correlation between the average enamel thickness distribution and tooth type is presented in table II.

Table II. Enamel thickness and the tooth type.

(Tooth Type)	Incisal	Medial	Cervical	Total
Incisor	1.02	0.93	0.47	0.81
Canine	1.31	1.17	0.47	0.98
Pre Molars	1.36	1.18	0.33	0.96
Mean	1.23	1.09	0.43	0.91

n = 36

Intact tooth

Enamel Thickness

Table III. Enamel thicknesses and color parameters in the intact tooth for UV₍₁₎ and LEDUV₍₁₎.

(Thickness)	L*UV(1)	ΔE	ΔL*	ΔC*	ΔH*	Δa*	Δb*
Incisal Area	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = 0.396	<i>p</i> = 0.169 <i>r</i> = 0.234	<i>p</i> = 0.477 <i>r</i> = 0.122	<i>p</i> < 0.01** <i>r</i> = 0.425	<i>p</i> = 0.92 <i>r</i> = -0.285	<i>p</i> = 0.813 <i>r</i> = -0.041	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = -0.375
Medial Area	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = 0.401	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = 0.342	<i>p</i> = 0.230 <i>r</i> = 0.178	<i>p</i> = 0.338 <i>r</i> = 0.164	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = 0.013	<i>p</i> = 0.340 <i>r</i> = 0.164	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = -0.344
Cervical Area	<i>p</i> < 0.01** <i>r</i> = 0.471	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = -0.338	<i>p</i> = -0.145 <i>r</i> = 0.399	<i>p</i> = 0.371 <i>r</i> = 0.154	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = 0.367	<i>p</i> = 0.115 <i>r</i> = -0.267	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = -0.346
Total Area	<i>p</i> = 0.181 <i>r</i> = 0.292	<i>p</i> = 0.546 <i>r</i> = -0.104	<i>p</i> = 0.454 <i>r</i> = -0.129	<i>p</i> = 0.263 <i>r</i> = -0.192	<i>p</i> = 0.798 <i>r</i> = 0.044	<i>p</i> = 0.788 <i>r</i> = 0.046	<i>p</i> < 0.05* <i>r</i> = -0.374

n = 36

The average thickness of the sample was: 1.2 mm in the incisal third, 1.06 mm in the medial and 0.43 mm in the cervical. The total average thickness was 0.94 mm.

From the data presented in table III, L*_{UV(1)} values are not dependent of enamel thickness variations, except for the middle third, where there is a fair relation (*p* < 0.01;

$r = 0.401$). Regarding LEDUV₍₁₎-LED₍₁₎ differentials, for ΔL^* and Δa^* vs enamel thickness we found no correlations. As for Δb^* and $\Delta H'$ the correlation coefficient with enamel thickness is moderate ($p < 0.01$; $r = 0.490$; $p < 0.01$; $r = -0.495$). ΔE has consistent but weak correlation coefficient in all areas inspected ($p < 0.01$; $r = -0.369$; $r = -0.377$).

Color

Correlations regarding UV₍₁₎ and LEDUV₍₁₎ lighting setups are plotted in table IV.

Overall, tooth type is a fair predictor of $L^*_{UV(1)}$ ($p < 0.01$).

Table IV. Correlations in the intact tooth between fluorescence and tooth type (UV₍₁₎ and LEDUV₍₁₎).

(Correlation)	Tooth Type vs $L^*_{UV(1)}$	Tooth Type vs $a^*_{UV(1)}$	Tooth Type vs $b^*_{UV(1)}$
Incisal area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.541$	$p < 0.05^*$ $r = -0.332$	$p = 0.256$ $r = -0.194$
Medial area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.474$	$p = 0.142$ $r = -0.250$	$p = 0.428$ $r = -0.136$
Cervical area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.435$	$p = 0.288$ $r = -0.182$	$p = 0.940$ $r = -0.013$
Total Area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.488$	$p = 0.203$ $r = -0.217$	$p = 0.346$ $r = -0.162$

$n = 36$

There is small evidence of dependence between $L^*_{UV(1)}$ and $\Delta L^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$, whereas $a^*_{UV(1)}$ and $\Delta a^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$ are moderately correlated in the cervical area ($p < 0.01$; $r = 0.477$) and $b^*_{UV(1)}$ vs $\Delta b^*_{LEDUV(1)-LED(1)}$ in the incisal and middle third ($p < 0.01$; $r = 0.418$ and $r = 0.488$). For $a^*_{UV(1)}$ there is no relation to ΔE and ΔH . In contrast, $b^*_{UV(1)}$ correlates with $\Delta E_{LEDUV(1)-LED(1)}$ and $\Delta H'_{LEDUV(1)-LED(1)}$ in the incisal third ($p < 0.01$; $r = -0.449$; $p < 0.01$; $r = 0.494$).

Dentin Core

Enamel Thickness

Table V and VI. Table V and VI show the correlations with statistical significance between enamel thickness of tooth specimens and color parameters regarding UV₍₂₎-UV₍₁₎ and LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎, respectively.

(Thickness)	ΔE	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	Δa^*	Δb^*
Incisal Area	$p < 0.05$ $r = 0.307$	$p = 0.806$ $r = 0.042$	$p = 0.747$ $r = -0.056$	$p = 0.114$ $r = 0.503$	$p = 0.439$ $r = -0.113$	$p < 0.05$ $r = -0.365$
Medial Area	$p < 0.01$ $r = 0.454$	$p < 0.05$ $r = -0.420$	$p = 0.009$ $r = -0.279$	$p = 0.694$ $r = -0.068$	$p = 0.238$ $r = 0.163$	$p < 0.05$ $r = -0.353$
Cervical Area	$p = 0.329$ $r = 0.168$	$p = 0.963$ $r = -0.008$	$p = 0.074$ $r = -0.301$	$p = 0.513$ $r = -0.113$	$p = 0.971$ $r = -0.06$	$p = 0.071$ $r = -0.305$
Total Area	$p = 0.460$ $r = 0.127$	$p < 0.05$ $r = -0.289$	$p = 0.846$ $r = 0.034$	$p = 0.798$ $r = 0.044$	$p = 0.814$ $r = -0.71$	$p = 0.879$ $r = 0.031$
<i>n</i> = 36						

(Thickness)	ΔE	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	Δa^*	Δb^*
Incisal Area	$p = 0.708$ $r = 0.65$	$p = 0.595$ $r = -0.092$	$p = 0.616$ $r = -0.086$	$p = 0.688$ $r = -0.069$	$p = 0.603$ $r = -0.090$	$p = 0.776$ $r = -0.049$
Medial Area	$p = 0.852$ $r = -0.32$	$p = 0.170$ $r = -0.234$	$p = 0.216$ $r = 0.211$	$p = 0.060$ $r = -0.316$	$p = 0.270$ $r = 0.189$	$p < 0.05^*$ $r = -0.335$
Cervical Area	$p = 0.868$ $r = -0.29$	$p = 0.353$ $r = 0.159$	$p = 0.570$ $r = 0.98$	$p = 0.708$ $r = 0.065$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.452$	$p = 0.476$ $r = 0.123$
Total Area	$p = 0.738$ $r = -0.008$	$p = 0.451$ $r = 0.130$	$p = 0.633$ $r = -0.082$	$p = 0.844$ $r = -0.034$	$p = 0.877$ $r = -0.027$	$p = 0.972$ $r = -0.006$
<i>n</i> = 36						

Regarding UV₍₂₎-UV₍₁₎ differentials, Table V shows correlations between the enamel thickness and ΔE , ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Δa^* e Δb^* . Table VI plots the correlations between enamel thickness and LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎ differentials. From the UV₍₂₎-UV₍₁₎ analyzed parameters, ΔE and ΔL^* show modest correlations with enamel thickness in the middle area (with r values below 0.46 for a $p < 0.01$). Δa^* , Δb^* and ΔC^* show hardly any relevant correlations. For LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎ parameters, none of the variables were found to be correlated with the enamel thickness.

Color

Table VII and VIII. Mean L*a*b* values of UV₍₂₎-UV₍₁₎.

(Color Parameters)	L* ₁		L* ₂		a* ₁		a* ₂		b* ₁		b* ₂	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Incisal Area	61.91	27.39	56.68	37.67	-13.05	7.25	-4.42	21.15	-38.37	21.35	-46.02	24.9
Medial Area	63.82	30.10	63.40	30.09	-14.52	15.73	-8.52	14.92	-37.27	23.54	-41.85	10.27
Cervical Area	67.17	26.33	64.67	24.52	-12.66	13.23	-6.97	18.25	-40.33	19.4	-47.48	18.96
Total Area	65.18	24.66	63.04	28.62	-12.69	9.69	-7.32	13.81	-39.52	14.66	-45.72	16.21

1 - UV1 2 - UV2 *n = 36*

(Color Parameters)	ΔE		ΔL		ΔC*		ΔH*		Δa*		Δb*	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Incisal Area	15.25	20.58	-5.23	27.27	-5.93	19.88	-9.96	19.4	8.62	18.29	-7.65	22.45
Medial Area	14.43	92.26	-0.41	22.97	-5.39	24.41	-5.20	123.67	6.00	19.34	-4.57	126.26
Cervical Area	11.03	22.70	-2.50	20.98	-5.81	21.7	-7.10	17.22	5.69	16.31	-7.15	22.22
Total Area	10.74	10.06	-2.14	12.49	-4.91	18.30	-6.60	13.82	5.24	12.69	-6.19	19.30

n = 36

The UV light revealed that L* steadily decreased in all areas of the tooth when the enamel was removed. UV₍₂₎ a* values increased evenly, but in contrast, b* values followed a negative tendency towards the blue axis. In the LED₍₁₎ light, average L* values also decreased, except for the middle third. The LEDUV₍₁₎ images presented L* values growing from incisal to cervical that showed a slight tendency for increasing when the enamel was removed. Furthermore, a* and b* followed a negative tendency from LEDUV₍₁₎ to LEDUV₍₂₎.

Table VII plots the L*a*b* values of UV₍₂₎-UV₍₁₎ lighting setups and their respective calculated differentials.

Regarding the UV₍₂₎-UV₍₁₎ results (Table VIII), ΔL* and ΔE showed the highest average value in the incisal third (- 5.23 and 15.25, respectively) and ΔE revealing the largest amplitudes. For all areas, Δa* and Δb* showed positive and negative values, respectively.

In respect to the LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎, there was almost no difference in the ΔL^* values in all areas studied. On the contrary, ΔE presented higher average values. Δa^* and Δb^* showed negative differences with Δb^* values being of larger magnitude. As for the LED₍₂₎-LED₍₁₎, ΔL^* values were negative and below 1 in all areas – Table IX. In contrast, ΔE values were higher than the latter and decreasing from the incisal to cervical area. Similarly, Δa^* average values decreased from incisal to cervical third and show a negative tendency, whereas Δb^* scored positive in all tooth areas.

There were multiple statistically significant correlations between UV₍₂₎-UV₍₁₎ and LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎ for ΔE , ΔL^* , $\Delta C'$, $\Delta H'$, Δa^* and Δb^* (Table X). Furthermore, the most relevant were ΔE_1 vs ΔE_2 , Δb^*_{1} vs ΔE_2 and Δb^*_{1} vs ΔC_2 .

Table X. Color parameters' correlations between UV₍₂₎-UV₍₁₎ and LEDUV₍₂₎-LEDUV₍₁₎.

(Correlation)	ΔE_1 vs ΔE_2	ΔL^*_1 vs ΔL^*_2	ΔL^*_1 vs ΔE_2	ΔC^*_1 vs ΔC^*_2	ΔH^*_1 vs ΔH^*_2
Incisal Area	$p = 0.08$ $r = 0.295$	$p < 0.05^*$ $r = 0.402$	$p = 0.079$ $r = -0.232$	$p = 0.00^{**}$ $r = -0.647$	$p = 0.368$ $r = 0.155$
Medial Area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.513$	$p < 0.05^*$ $r = 0.368$	$p < 0.05$ $r = 0.418$	$p = 0.91$ $r = -0.018$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.478$
Cervical Area	$p = 0.606$ $r = 0.089$	$p = 0.68$ $r = 0.308$	$p = 0.38$ $r = 0.151$	$p = 0.81$ $r = 0.042$	$p = 0.127$ $r = -0.259$
Total Area	$p = 0.00^{**}$ $r = 0.560$	$p < 0.05^*$ $r = 0.385$	$p < 0.01$ $r = 0.494$	$p < 0.05^*$ $r = 0.342$	$p = 0.00$ $r = -0.582$
	Δa^*_1 vs Δa^*_2	Δb^*_1 vs Δb^*_2	Δb^*_1 vs ΔE_2	Δa^*_1 vs ΔC^*_2	Δb^*_1 vs ΔC^*_2
Incisal Area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.469$	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.562$	$p < 0.05$ $r = 0.334$	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.567$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.565$
Medial Area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.518$	$p < 0.05^*$ $r = -0.411$	$p < 0.01$ $r = 0.736$	$p = 0.530$ $r = 0.108$	$p < 0.05^*$ $r = -0.360$
Cervical Area	$p < 0.05^*$ $r = 0.418$	$p = 0.301$ $r = -0.177$	$p < 0.05$ $r = 0.367$	$p = 0.504$ $r = -0.115$	$p < 0.05^*$ $r = -0.354$
Total Area	$p < 0.01^{**}$ $r = 0.547$	$p < 0.01^{**}$ $r = -0.532$	$p = 0.118$ $r = 0.265$	$p = 0.55$ $r = 0.103$	$p < 0.05^*$ $r = -0.412$

1 - UV2-UV1 2 - LEDUV2-LEDUV1

n = 36

Discussion:

For better understanding of the significance of each finding, we divided our analysis regarding the intact tooth from the dentin core, in respect to all lighting setups.

Intact tooth - color

For $L^*_{UV(1)}$ we found moderate correlations of statistical significance with the type of tooth analyzed, in the three thirds of the teeth ($p < 0.01$; $r = 0.541$ incisal, $r = 0.474$ middle, $r = 0.435$ cervical, $r = 0.488$ total). Most incisors ($n=12$) and premolars ($n=11$) presented intermediate $L^*_{UV(1)}$ values. The highest fluorescence brightness ($L^*_{UV(1)}$) were canines ($n=2$) and premolars ($n=3$). The incisors presented lower fluorescence intensity values ($n=5$). Although, in the literature there is no difference in fluorescence of different tooth types in individuals of the same age group [11], fluorescence intensity varies with age. As the sample is heterogeneous regarding to age, this may partly explain the scattering of L^* values of the fluorescence emission recorded in the sample (Table VII). Nevertheless, a gradient pattern was recognized in fluorescence intensity of the tooth, growing from incisal to cervical ($L^* = 61.91$, $L^* = 63.83$ and $L^* = 67.17$). This is in accordance with previous data that the tooth fluorescence is mainly given by the dentin core [21]. Values for $a^*_{UV(1)}$ and $b^*_{UV(1)}$ exhibited mean values with considerable amplitudes (15.73 and 23.74, respectively) in all tooth thirds, with the middle third presenting the highest amplitude observed. These variations mean that regarding fluorescence color, blue and green there are important variations between teeth of the sample regarding the visible emission vary considerably across the sample.

Table XI. Mean and Amplitudes of $L^*a^*b^*$ values from LED and LED combined with UV light (LEDUV).

(Color Parameters)	L^*_1		L^*_2		a^*_1		a^*_2		b^*_1		b^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Incisal Area	66.11	13.12	68.92	15.10	-1.13	5.02	-2.83	4.39	14.30	25.41	6.41	28.56
Medial Area	72.13	16.05	75.61	13.41	-1.72	6.05	-3.59	3.90	18.14	13.30	6.73	19.38
Cervical Area	73.08	18.48	77.49	16.11	-2.39	6.92	-3.72	5.86	23.07	18.31	3.53	19.24
Total Area	68.36	14.81	73.00	13.46	-1.50	6.05	-3.32	4.67	19.08	12.81	4.56	18.69

1 - LED 2 - LEDUV

$n = 36$

When analyzing tooth color components (table XI) in the absence of UV light (LED₍₁₎), it was possible to recognize a gradient of luminosity, increasing from incisal ($L^* = 66.11$) to cervical ($L^* = 73.08$). Although it was a small variation between the cervical third and the middle third ($L^* = 72.13$). When UV was added to LED light it had repercussions in both color and luminosity, which increased evenly in all areas analyzed (table XI). Regarding LEDUV₍₁₎-LED, the average values of ΔL^* and ΔE were higher in the cervical third. We speculate the effects of UV addition will be felt more where the enamel is thinner. For LEDUV₍₁₎-LED, the average ΔE observed in the sample was mainly due to Δb^* (blue shift), about three times higher than Δa^* (red shift) in total tooth area, with the largest variation occurring in the cervical third. ΔE and ΔL values recorded in Table XI reveal that when UV is added to LED, the differences in luminosity and color are in average above the minimum threshold for observer to identify. This acknowledgment verifies that there are considerable differences in identifying color and value in the presence or absence of a light source that includes a UV component [22].

Intact tooth - Thickness

Several methodologies are described in the literature to estimate the thickness of human enamel. With the emergence of 3D radiology, conventional tomography and, more recently, microtomography, it is possible to study the relationship of hard tissues with a non-destructive approach [23], [24].

In this study, 3D method was used, through a scan of both the intact tooth and the dentin core, as the latter was obtained from a selective enamel removal procedure with an acid bath that macroscopically exposed the surface of dentin core.

The enamel thickness found in this sample is similar to that reported in the literature [24], [25]. As expected, the tooth presents greater thickness from incisal to cervical, and the canines were the teeth that described greater average thickness in enamel (1.08 mm), followed by premolars (0.96 mm). Of the analyzed areas, the incisal third exhibited the largest range of mean thickness values, while cervical third display the lowest (Figure 6).

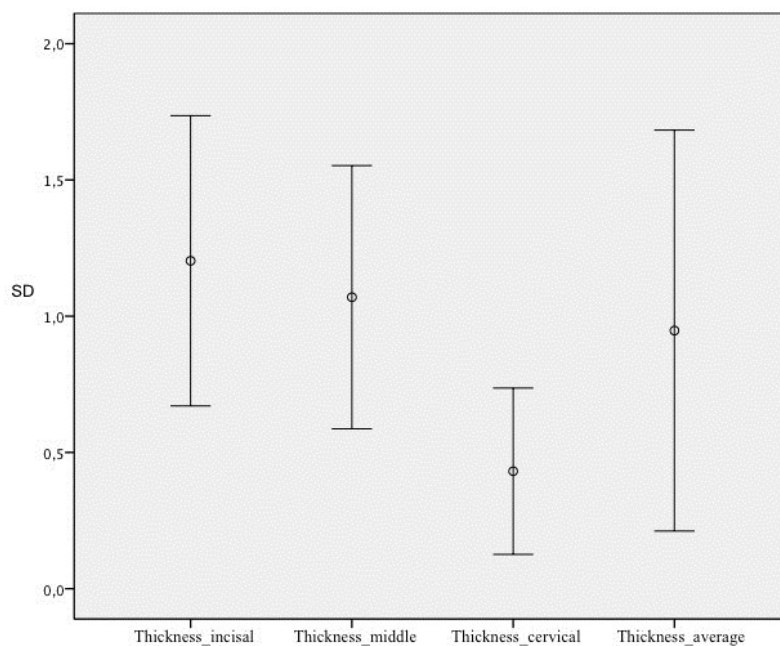


Figure 6: Enamel thickness of the different thirds.

There is some degree of correlation between the fluorescence luminosity - $L^*_{UV(1)}$ - of the intact tooth and the enamel thickness in the incisal thirds ($p < 0.05$; $r = 0.396$) and middle ($p < 0.01$; $r = 0.401$), whereas no correlation was found in the cervical third. Similarly, correlations between enamel thickness and fluorescence intensity are modest: although with high dispersion. In Figure 7 shows tendency for a negative variation of the fluorescence luminosity as the enamel thickness increases in the middle third ($p < 0.05$; $r = -0.420$). Nevertheless, $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$ followed a negative tendency in all tooth

areas, being the lowest in the incisal third (-5.23), although a high dispersion of values was recorded.

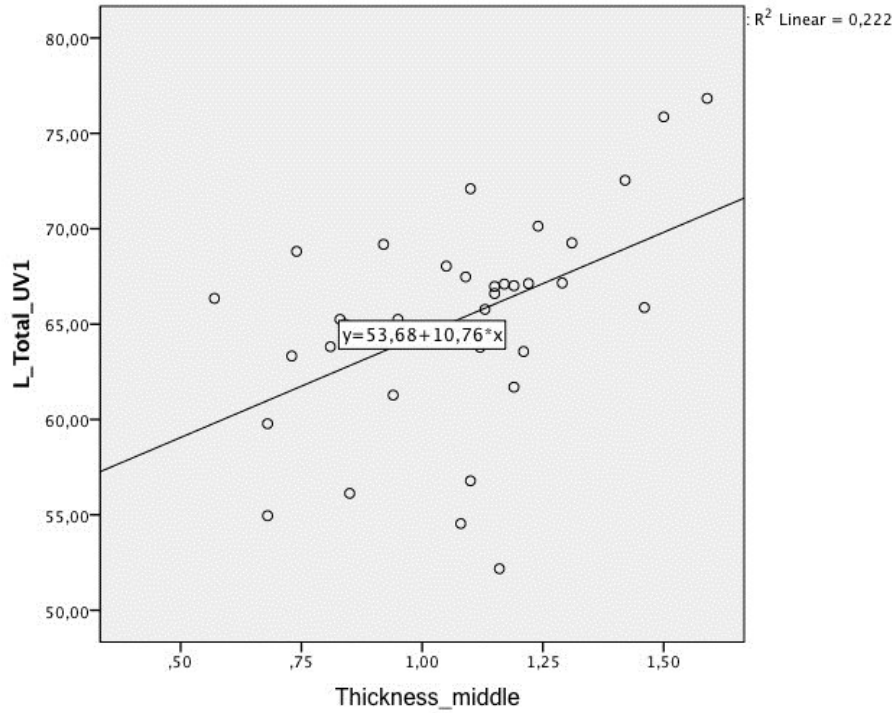


Figure 7: This graphic shows a tendency for negative variation of fluorescence luminosity with the increase of the enamel thickness in the middle third.

Regarding the color of the fluorescent emission of the tooth, there seems to be a tendency for an increase of $\Delta E_{UV(2)-UV(1)}$ as the thickness of the enamel in the middle third of the tooth increases ($p < 0.01$; $r = 0.454$); Δb^* , ΔH and $\Delta C'$ show weaker correlations ($p < 0.05$) in the middle third – Table V.

The relation between enamel thickness and variation of the tooth fluorescence is scarcely studied. Fluorescence of the enamel depends on the variation of its organic content but also on and hydroxyapatite crystals organization, responsible for the phenomenon of inelastic dispersion, in which the emitted light has a lower wavelength than the excitatory radiation [26]. A study by Eimar in 2011 concluded that tooth color

parameters were influenced by variability in the mineral composition of enamel, regarding the size and degree of the carbonization of the enamel hydroxyapatite (HA) crystals [27]. This can partly explain the high dispersion found in the ΔL^* and ΔE values for the $UV_{(2)}-UV_{(1)}$. Nevertheless, our results show a similar trend to that reported by Tavares, that an increase in thickness increases enamel fluorescence [28].

Tooth-Core - Color

When combined LED light with UV, it was possible to verify that the luminosity effects on the tooth after enamel removal are scarce (table IX). The mean values of $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ were all below 1, being the mean variation was negative in the cervical third (-0.92) and positive in the incisal and middle thirds. The greatest amplitude of values was found in the incisal third (min. -7.61, max. 8.95), with total amplitude was lower (-2.94 to 5.87).

Table IX. Mean and Amplitudes of color parameters in LED lighting setup combined with UV light (LEDUV).

(Color Parameters)	ΔE_1		ΔE_2		ΔL^*_1		ΔL^*_2		ΔC^*_1		ΔC^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Incisal Area	5.66	10.26	6.47	16.68	0.41	16.56	-1.08	16.26	-0.34	12.61	-3.84	20.19
Medial Area	4.55	13.40	5.68	10.73	0.71	10.95	-0.02	10.99	0.38	13.43	-4.25	16.77
Cervical Area	4.42	13.83	3.65	8.02	-0.92	12.59	-0.60	12.75	0.69	13.50	-1.44	13.66
Total Area	3.99	12.79	5.38	34.97	0.46	8.92	-0.44	13.45	0.43	6.34	-3.34	13.96
(Color Parameters)	ΔH^*_1		ΔH^*_2		Δa^*_1		Δa^*_2		Δb^*_1		Δb^*_2	
	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t	μ	t
Incisal Area	-1.20	17.64	-2.17	5.23	-0.96	4.77	-2.07	4.36	-0.30	18.88	3.45	20.28
Medial Area	-2.40	17.56	-1.82	5.56	1.11	4.99	-1.97	3.03	-1.84	20.47	3.91	17.17
Cervical Area	-1.63	26.47	-1.61	2.91	1.88	12.53	-1.51	2.54	-2.39	14.11	1.21	13.65
Total Area	-2.27	17.20	-0.92	40.78	0.87	3.92	-1.35	23.47	-1.99	17.17	1.89	38.34

1 - LEDUV2-LEDUV1 2 - LED2-LED

n = 36

Bosch in 1995 suggested that enamel plays an important influence in the luminosity of the tooth via translucency, modulating the chromatic influence of the dentin core [29]. Bin Yu in 2009 described that the parameter of enamel translucency weakly discerns from dentin, being that the relative thickness between both and its differences of CIEL*a*b* parameters are the main responsible by the luminosity control of the tooth [30]. However, in this investigation, there are no statistically relevant correlations between enamel thickness and $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$. This finding is in accordance with the results of Oguro in 2016, further reinforcing that the enamel translucency barely influences the control of the tooth luminosity [31]. It was also suggested by Bosch, that light scattering inside the enamel has an effect on the tooth luminosity, although his regressions were inconclusive [29]. Likewise no correlation was found between the ΔL^* and its refractive index after complete enamel trimming [29], [31].

Fluorescence increases tooth luminosity, adding blue-whitish light to the tooth. It is known that the enamel fluorescence index is lower than dentine, being the latter the most responsible for the tooth color changes provided by fluorescence [32]. Bosch also stated that enamel fluorescence has weak influence on the color of the tooth [29]. Despite that, we found significant statistical correlations ($p < 0.05$) between $\Delta L^*_{UV(2)-UV(1)}$, in the incisal third ($r = 0.402$) and middle third ($r = 0.430$), proposing some dependence between the variation of the enamel fluorescence luminosity and the variation of the tooth luminosity, when enamel is removed.

With LED light, the luminosity differential $\Delta L^*_{LED(2)-LED(1)}$ also recorded values below the visual perception threshold after enamel removal. Nevertheless, the direction of the change in the mean values of ΔL^* is different in all analyzed areas, being that $\Delta L^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ present positive variations unlike $\Delta L^*_{LED(2)-LED(1)}$, which present negative

variations (Table IX), confirming the results found in *Pearson's* correlation test. In short, in the presence of UV light the average luminosity of the tooth increases when enamel is removed, whereas in the absence of UV light the dentin core luminosity decreases as the enamel disappears.

Regarding chroma, ΔC^* also differed significantly in the presence and absence of UV light. $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ was on average slightly positive except in the incisal third (-0.34). For $\Delta C^*_{LED(2)-LED(1)}$ we found negative average values in all areas of the tooth, always lower than those from $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$. Another finding is that the amplitude of ΔC^* values in the sample is considerably narrower with UV light than without, the first being on average half of the second (6.34 vs 13.96). Likewise in incisal area, where the enamel is thicker, this difference in the amplitude of ΔC^* values with and without UV is notorious (Table IX). This suggests that a more fluorescent tooth may seem more chromatic than another less fluorescent, when it loses enamel. It has been reported that with aging there is an increase in tooth chroma, mainly due to structural modifications in the dentin core, along with an increase in fluorescence intensity, aside with age-related enamel loss of volume [21]. Zhonghua also reported a relationship between fluorescence intensity and chroma variation in dentin [33]. In this present study, a statistically significant negative correlation ($r = -0.470$) was found in the incisal ($p < 0.01$; $r = -0.647$) and in the total area of the tooth ($p < 0.05$) between $\Delta C^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$. This suggests that where the enamel is thicker, there may be a relationship between the fluorescent emission of the tooth and its chroma variation once the enamel has been removed. On another hand, Bosch suggested that the enamel thickness related to its translucency could control chromatic influence of the dentin on the natural tooth appearance [29]. Nevertheless we found no significant correlations with enamel thickness in this sample when evaluating $\Delta C^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$.

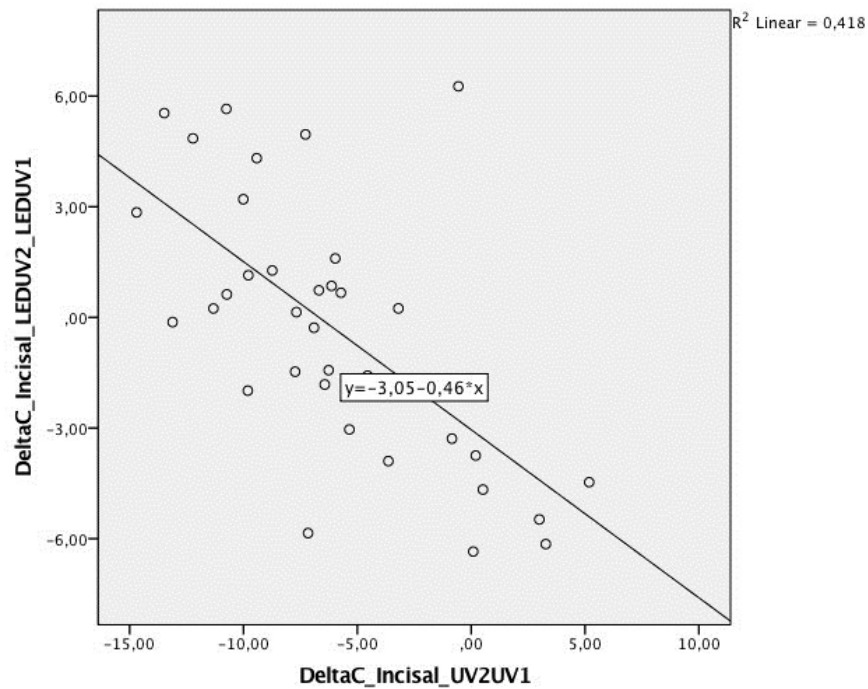


Figure 8: This graphic suggests a relation between fluorescence and chroma in the tooth when enamel is lost.

$\Delta a^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta b^*_{UV(2)-UV(1)}$ are statistical significant predictors of $\Delta C^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$, mainly in the incisal third of the tooth ($p = 0.00$; $r = 0.567$ and $p = 0.00$; $r = 0.565$), suggesting that where enamel is thicker and the influence of dentin core smaller the chroma when enamel is lost may be assigned partially to fluorescence color influence (Figure 8). These findings are different from those found in literature [29].

Enamel exhibits a slight but noticeable influence on tooth color and translucency [34]. In the analyzed sample, $\Delta E_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ display mean absolute values above the critical threshold limit (2.3) at all analysed areas: 92% of the specimens in incisal, 86% middle, 73% cervical and 81% in tooth total area. These values are comparable to reported literature [31].

Likewise, the variations of $\Delta E_{LED(2)-LED(1)}$ also demonstrated values above the critical limit, comparable in general to the $\Delta E_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ values, although on average slightly higher. One would expect that if enamel fluorescence had a strong impact on tooth color, the ΔE would assume different values and dispersion with and without UV component. This acknowledgement confirms the results of other studies proposing that the influence of fluorescence of the enamel on tooth color is limited [29].

Nevertheless, strong correlations ($p = 0.00$; $r = 0.560$) were found between $\Delta E^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta E^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ with the middle third. $\Delta a^*_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta b^*_{UV(2)-UV(1)}$ also showed statistical relation with $\Delta a^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ and $\Delta b^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$, the latter also strongly correlating with ΔE ($p < 0.01$; $r = 0.736$). Previous studies reported that the color differential values recorded when enamel was removed were mainly due to variation of Δb^* values [29], [31]. A study suggests a possible relation between fluorescence and opalescence in the enamel that might influence tooth color, as it was found a statistically strong relation between Δb^* and the opalescence parameter (OP), when the enamel was removed [35]. Enamel opalescence and fluorescence are light transmission phenomenon's, whose relation with tooth color pattern may be underestimated.

There is a noteworthy difference between the blue (Δb^*) and red (Δa^*) ranges in the presence or absence of UV light. In the absence of UV light, $\Delta b^*_{LED(2)-LED(1)}$ assumed positive values in all areas of the tooth, larger in the incisal and middle thirds, where enamel is thicker. On the other hand, $\Delta b^*_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ exhibits on average negative values (deviation towards the blue axis). $\Delta a^*_{LED(2)-LED(1)}$ assumes an increasing deviation to green ($\Delta a^*_{total} = -1.35$). A statistically significant correlation was found between $\Delta H_{UV(2)-UV(1)}$ and $\Delta H_{LEDUV(2)-LEDUV(1)}$ ($p = 0.00$; $r = 0.704$), reinforcing the mentioned relations above with Δa^* and Δb^* .

Even though some statistically significant correlations regarding color parameters seem to occur in the same tooth areas, it was not possible to find a relation between enamel thickness and ΔE and ΔH in the LEDUV lighting setup.

Conclusion:

We conclude that enamel fluorescence is correlated to tooth color and chroma but has a subtle influence in tooth color changes when enamel is removed. Even though enamel removal influences tooth color above the visual threshold limit.

Enamel fluorescence has some degree of correlation with enamel thickness variation.

Fluorescence may be related to opalescence by blue axis color modulation of the dentin core visual perception.

Digital imaging analysis of tooth color techniques and the methodology used in this study to characterize the enamel thickness is easily performed and reproducible and the obtained results are comparable to other described techniques.

References:

- [1] Magne P, Belser U, Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. *Quintessence Publishing Co, Inc.*, 2002
- [2] Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, et al. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent.* 2008;36:2–7
- [3] Vimal K, Sikri J, Color: Implications in dentistry. *Conserv Dent.* 2010;13:249-255

- [4] Melo TM, Kano P, Avaliação e reprodução cromática em dentisteria operatória: parte 1 - o mundo das cores. *J Braz Dent.* 2005;1:95-104
- [5] Ferreira A, Metamerismo: análise de influência do iluminante no comportamento da cor de dentes naturais e materiais estéticos. *Faculdade de Odontologia da USP*, 2002
- [6] Fondriest J, Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23:467–479
- [7] Banerjee A, Cook R, Kellow S, et al. A confocal micro-endoscopic investigation of the relationship between the microhardness of carious dentine and its autofluorescence. *Eur J Oral Sci.* 2010; 118:75–79
- [8] Tani K, Watari F, Uo M, et al. Fluorescent Properties of Porcelain-Restored Teeth and Their Discrimination. *Mater Trans.* 2004;45:1010–1014
- [9] Zolotarev VM, Grisimov VN, Architectonics and optical properties of dentin and dental enamel. *Opt Spectrosc.* 2001;90:753–759
- [10] Altshuler GB, Optical model of the tissues of the human tooth. *J Opt Technol.* 1995;62:516–520
- [11] Matsumoto H, Kitamura S, Araki T, Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperatura measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Arch Oral Biol.* 1999;44:309–318
- [12] Matsumoto H, Kitamura S, Araki T, Applications of fluorescence microscopy to studies of dental hard tissues. *Front Med Bio Eng J.* 2001;10:269–284
- [13] Gakamsky DM, Dhillon B, Babraj J, et al., Exploring the possibility of early cataract diagnostics based on tryptophan fluorescence. *J R Soc Interface* 2011;8:1616–1621
- [14] Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD, Dental color matching instruments and

- systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38
- [15] Vela D, Dipika B, Digital Dental Photography: A Contemporary Revolution. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2013;6:193–196
- [16] Bengel WM, Digital photography and the assessment of therapeutic results after bleaching procedures. *J Esthet Restor Dent.* 2003;15:21-32
- [17] Bureau Central de la CIE, CIE-Colorimetry *CIE (supplement nr. 21)*, Paris, 1978; 15-30
- [18] Cal E, Güneri P, Kose T, Comparison of digital and spectrophotometric measurements of colour shade guides. *J Oral Rehabil.* 2006;33:221–228
- [19] Weea AG, Lindsey DT, Delwin T, et al., Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater J.* 2006;22:553–559
- [20] Analoui M, Papkosta E, Cochran M, et al., Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent.* 2004;92:371–376
- [21] Lee YK, Fluorescence properties of human teeth and dental calculus for clinical applications. *J Biomed Opt.* 2015;20:040901
- [22] Panzeri H, Fernandes LT, Minelli CL, Spectral fluorescence of direct anterior restorative materials. *Aust Dent J.* 1977;22:458–461
- [23] Swain M, Xue J, State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research. *Int J Oral Sci.* 2009;1:177–188
- [24] Feeney R, Zermeno JP, Reid DJ, et al. Enamel thickness in Asian human canines and premolars. *Int J Oral Sci.* 2010;118:191–198
- [25] Kedici P, Atsu S, Gokdemir Y, et al. Micrometric measurements by scanning electron microscope (SEM) for dental age estimation in adults. *J Forensic Odonto-Stomatology* 2000;18:22–26
- [26] Jiang T, Ma X, Wang Y, et al. Investigation of the effects of 30% hydrogen

- peroxide on human tooth enamel by Raman scattering and laser-induced fluorescence. *J Biomed Opt.* 2008;13:14–19
- [27] Oguro R, Nakajima M, Seki N, et al. The role of enamel crystallography on tooth shade. *J Dent.* 2011;39:1–3
- [28] Tavares C, Tavares L, Correia A, et al., Effect of thickness on fluorescence of resin-composites and dental substrates. *Braz Dent J.* 2016;19:53–58
- [29] Bosch JJ, Coops JC, Tooth Color and Reflectance as Related to Light Scattering and Enamel Hardness. *J Dent Res.* 1995;74:374–380
- [30] Bin Y, Ahn J-S, Lee YK, Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand.* 2009;67:57-64
- [31] Oguro R, Nakajima M, Seki N, et al. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. *J Dent.* 2016;51:36–44
- [32] Winter R, Visualizing the natural dentition. *Int J Esthet Dent.* 1993;5:103-107
- [33] Liang SS, Jiang T, Wang TN, Effect of hydrogen peroxide with different pH values on the color, translucency and laser-induced fluorescence of human dentin. *Chin J Stomatology* 2013;48:453-457
- [34] Brodbelt R, O'Brien WJ, Fan PL, et. al. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res.* 1981;60:1749–1753
- [35] Lee YK, Yu B, Measurement of opalescence of tooth enamel. *J Dent.* 2007;35:690-694