WASHINGTON STEAGALL JUNIOR

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DA LUZ
ATRAVÉS DO ESMALTE E DA DENTINA HUMANOS**

São Paulo

2005

Washington Steagall Junior

**Contribuição para o estudo da propagação da luz através
do esmalte e dentina humanos**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Dentística

Orientador: Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira

São Paulo

2005

FOLHA DE APROVAÇÃO

Steagall WJr. Contribuição para o estudo da propagação da luz através do esmalte e dentina humanos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

São Paulo, / /

Banca Examinadora

1) Prof(a). Dr(a).

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a).

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a).

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÒRIA

A minha Mãe, Agnes de Moraes, pelo amor e carinho que me apoiaram durante todos os anos da minha vida,

Aos meus queridos irmãos, Mônica, Nancy e Thomas, pelo entendimento, apoio e compreensão durante toda fase de elaboração deste trabalho.

À Daisy de Moraes e Ilza Steagall, minhas tias, pela ajuda e companhia, em todos os momentos.

A Washington Steagall, meu pai, cuja inspiração me levou a odontologia.

A Lincoln Steagall, meu tio, cujo exemplo de perseverança, honestidade e humildade me levaram a iniciar uma carreira acadêmica.

A Denizarth Steagall, simplesmente pela oportunidade de estar aqui hoje, concluindo este trabalho.

Aos tios Maurício, Denizard, Seide, Valéria e Daisy, pelos exemplos de dedicação, e devoção ao ensino.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira , meu orientador e amigo, que me direcionou de maneira segura durante todas as fases deste trabalho, muito obrigado pela paciência e pela dedicação .

Ao Prof. Dr. Evaldo Corat, pela inestimável orientação durante a parte prática deste trabalho, sem a qual sua conclusão seria impossível.

Ao pesquisador Carlos Kuranaga, por ter me ensinado a técnica espectrofotométrica.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Bragança por toda ajuda, atenção e orientação a mim dispensada nas análises estatísticas deste trabalho.

À Dra Lúcia Bodi, por ter me ajudado a escrever, entender e compreender melhor a estrutura deste trabalho.

As Professoras Margareth Oda, Miriam Lacalle Turbino e Adriana Bonna Mattos por todos os conselhos e incentivos, durante os anos de convivência no Departamento de Dentística.

As Professoras Maria Ângela e Maria Aparecida, pela franqueza, amizade e respeito com que sempre me trataram e pela oportunidade de participar da disciplina de Dentística Restauradora I.

À Profa Dra Márcia Marques, presidente da pós-graduação, por todo suporte, atenção, carinho, e confiança com que sempre tratou a todos nós durante o curso de mestrado.

Ao Prof. Dr Narciso Garone, por nos oferecer sempre o melhor, para o desenvolvimento do curso e das atividades de pesquisa..

Aos meus queridos amigos, colegas de graduação, Sidney, Pelletti, Rogério, Barbosa, César, Fabiana, Antônio, Nagamine, e Carla, muito obrigado pela amizade, sem a qual não chegaria até aqui.

À Yuri, Ângela, Juliana, Maria Amélia, Celso e Priscila, estagiários da Disciplina de Escultura Dental, muito obrigado pela motivação, amizade e apoio durante todos esses anos de disciplina.

À Sheila Braga, minha querida companheira de mestrado, muito obrigado pela paciência, carinho e atenção dispensadas a mim durante todo curso.

À Thaís Thomé, pessoa singular, sempre presente em todas as situações, muito obrigado pelo suporte, que me ajudou a passar pelos momentos mais críticos.

À Arlene Tachibana, grande amiga e colega, muito obrigado pela amizade e companhia que sempre me dispensou.

À Ana Del Carmen, por todo o auxílio e motivação para conclusão da dissertação.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, Vinícius, Archilla, Manoel, Robles, Ana Cecília, Patrícia Freitas Patrícia Llorett, Kátia, Alesandra, Márcio, Ninoskha, Alex, Beatriz, obrigado pela oportunidade de conviver e crescer juntos !

As bibliotecárias Glauci e Vânia, pela inestimável orientação na revisão deste trabalho.

À Kátia e a Nair, secretarias da Pós Graduação, pela gentileza e atenção em todos os momentos.

À David, Neusa e Ana ,. secretários do Departamento de Dentística, pelo carinho que sempre dispensaram a todos os alunos do curso.

À Sônia, pelo carinho e atenção com que sempre nos tratou.

À todos os técnicos do Departamento de Dentística

A Capes pela bolsa de Mestrado no programa de Demanda Social..

Steagall WJr. Contribuição para o estudo da propagação da luz através do esmalte e dentina humanos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

RESUMO

Este trabalho estuda a propagação da luz no esmalte e dentina humanos, através da transmitância direta e absorbância no intervalo de comprimento de onda de 200 a 3200nm, e através da transmitância total no intervalo de onda de 380 a 760nm. Foram utilizadas secções de 30 molares humanos íntegros, que foram seccionados nos sentidos VL (vestíbulo – Lingual), MD (mésio distal) e OC (ocluso cervical). As espessuras utilizadas foram de 0,5mm e 0,25mm. Foram agrupados 5 dentes para cada sentido para cada espessura. Esmalte e dentina estavam presentes de maneira simultânea na mesma amostra. A absorbância foi calculada, a partir dos espectros de transmitância direta, aplicando-se a Lei e Beer-Lambert. Os espectros de transmitância total foram obtidos no espectro visível, e comparados, em média, com os espectros de transmitância direta no mesmo intervalo, para obter a energia difusa das amostras. Os espectros UV (Ultravioleta), VIS (Visível) e IV (Infravermelho), foram tratados separadamente para cada tecido e espessura. No infravermelho foram identificados os picos de transmitância e absorbância para ambos os tecidos. Os valores de transmitância e absorbância para cada faixa espectral foram tratados pela ANOVA, e os

grupos comparados pelo teste de intervalo de confiança (95%). Os resultados mostraram que, as propriedades ópticas do esmalte e dentina diferem no que diz respeito as 3 faixas espectrais testadas. Os resultados também mostram que as propriedades ópticas são dependentes da espessura e do sentido de seccionamento dos dentes. Apesar das diferenças apresentadas entre os espectros, as curvas espectrais mostraram um padrão semelhante para todas as amostras de dentina e de esmalte, independente da espessura. Este comportamento possibilitou a identificação de picos comuns nos espectros estudados.

Palavras-Chave: Transmissão – Absorção – Esmalte – Dentina – Luz – Espectrofotometria.

Steagall WJr. A Contribution for the Study of the Propagation of Light through the Human Enamel and Dentine [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

ABSTRACT

This research studies the propagation of light in the human enamel and dentine, through direct transmittance and absorbance in the 200 to 3200nm wavelength interval, and through total transmittance in the 380 to 760nm wavelength interval. The study employed sections of 30 human integral molars, which were sectioned in the VL directions (vestibule – Lingual), MD (mesio distal), and OC (occlusion cervical). The thicknesses used were from 0.5mm to 0.25mm. Five teeth were grouped in each direction for each thickness. Enamel and dentine were simultaneously present in the same sample. Absorbance was calculated from the direct transmittance specters, applying the Beer-Lambert Law. Total transmittance specters were obtained in the visible specter, and compared, on average, with the Total transmittance specters in the same interval, to obtain the diffuse energy of the samples. UV (Ultraviolet), VIS (Visible), and IV (Infrared) specters, were treated separately for each tissue and thickness. In infrared, the transmittance and absorbance peaks were identified for both tissues. The transmittance and absorbance spectral range were treated by ANOVA, and the groups compared by the confidence interval test (95%). The results showed that the optical

properties of the enamel and dentine differ with regard to the three tested spectral ranges. The results also showed that the optical properties are dependent on the thickness and the direction of the sectioning of the teeth. Despite the differences found between the specters, the special curves showed a similar pattern for all samples of dentine and enamel, independently of the thickness. This behavior allowed the identification of common peaks in the specters under study.

Keywords: Transmittance – Absorbance – Enamel – Dentine – Light – Spectrophotometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Componentes de uma onda.	29
Figura 2.2 - Escala dos comprimentos de onda nos limites conhecidos do espectro eletromagnético. Observar que com o aumento dos comprimentos de onda ocorre a diminuição da energia e da frequência das ondas.....	31
Figura 2.3 – Diferentes impressões visuais dos comprimentos de onda do espectro visível.....	32
Figura 2.4 – Porção de espectro eletromagnético mostrando as divisões entre as radiações ionizantes e termais de interesse biológico. Observe também a representação gráfica dos comprimentos de onda.....	34
Figura 2.5 - O passo óptico através de uma série de meios ópticos.....	36
Figura 2.6 - Interações da luz com a matéria.....	37
Figura 2.7 – Reflexão e refração no limite que separa dois meios com índices de refração respectivamente n e n'	39
Figura 2.8 – Nível de energia das moléculas.....	43
Figura 2.9 - Espalhamento de luz pelas partículas de um meio. (I_0) – Intensidade incidente, (I) intensidade emergente do meio. (I_s) Intensidade espalhada e (d) distância ou passo óptico do meio.....	44

Figura 2.10 –Espalhamento do raio incidente por uma partícula.....	45
Figura 2.11 –Esquema de um monocromador.....	48
Figura 4.1 - Esquema de inclusão dos dentes para serem seccionados, vistas superior e frontal.....	77
Figura 4.2 - Posicionamento do dente para corte axial (VL) ou (MD) Vistas Lateral (A) a Frontal (B).....	78
Figura 4.3 - Posicionamento do dente para no plano oclusal (VL) ou (MD) Vistas Lateral (A) a Frontal (B).....	79
Figura 4.4 - Esquema de corte dos dentes. (A) - Sentido mésio - distal; (B) - Sentido vestibulo -lingual; (C) - Sentido ocluso - cervical.....	80
Figura 4.5 - Desidratação do esmalte em função do tempo.....	86
Figura 4.6 - Desidratação da dentina em função do tempo.....	86
Figura 4.7 - Esquema de posicionamento do corte na máscara de leitura: A - Frente da máscara, voltada para a fonte de luz; D - Face posterior da máscara voltada para o detector.Observe as tiras de fita já aplicadas; B e E - Corte posicionado para leitura do esmalte; C e F – Corte posicionado para a leitura da dentina.....	90
Figura 4.8 - Esquema de leitura do ensaio de transmissão direta, para cálculo da transmitância $T = \frac{I}{I^0}$	91
Figura 4.9 - Espectros de transmissão em 3 pontos diferentes para a mesma amostra de dentina.....	92
Figura 4.10 - Luz incidente (I ₀) / Espessura da amostra (x) / Luz transmitida (I).....	93
Figura 4.11- Diagrama esquemático para (a) transmissão direta T _d e (b) transmissão total TT dos tecidos dentais usando espectrofotômetros.....	95
Figura 4.12 - Representação gráfica dos picos 1 (2210nm), 2 (1640nm) e 3 (1100nm) da região IV para transmitância em dentina.....	98

Figura 4.13	Representação gráfica dos picos 1 (2500nm), 2 (1930nm) e 3 (1420nm) da região IV para absorbância em dentina.....	98
Figura 4.14	Representação gráfica dos picos 1 (2190nm), 2 (1800nm) e 3 (1330nm) da região IV para transmitância em esmalte.....	99
Figura 4.15	Representação gráfica dos picos 1 (2810nm), 2 (1935nm) e 3 (1425nm) da região IV para absorbância em esmalte.....	99
Figura 5.1 -	Comparações entre os grupos de esmalte (UV) no intervalo de confiança de 95%.....	102
Figura 5.2 -	Comparações entre os grupos de dentina (UV) no intervalo de confiança de 95%.....	103
Figura 5.3 -	Comparações entre os grupos de esmalte (VIS) no intervalo de confiança de 95%.....	104
Figura 5.4 -	Comparações entre os grupos de dentina (VIS) no intervalo de confiança de 95%.....	105
Figura 5.5 -	Comparações entre os grupos de esmalte (IV) no intervalo de confiança de 95%.....	106
Figura 5.6 -	Comparações entre os grupos de dentina (IV) no intervalo de confiança de 95%.....	107
Figura 5.7 -	Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte : Pico 1.....	109
Figura 5.8 -	Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte: Pico 2.....	110
Figura 5.9 -	Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte: Pico 3.....	111
Figura 5.10 -	Comparação entre os picos de transmissão 1 e 2 para esmalte.....	112
Figura 5.11 -	Comparação entre os picos de transmissão 1 e 3 para esmalte.....	113
Figura 5.12 -	Comparação entre os picos de transmissão 2 e 3 para esmalte.....	114

Figura 5.13 - Intervalos de confiança de 95% para absorbância em esmalte: Pico 1.....	115
Figura 5.14 - Intervalos de confiança de 95% para absorbância em esmalte: Pico 2.....	116
Figura 5.15 Intervalos de confiança de 95% para absorbância em esmalte: Pico 3.....	117
Figura 5.16 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 1.....	118
Figura 5.17 - Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 2.....	119
Figura 5.18 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 3.....	120
Figura 5.19 Comparação entre os picos 1 e 2 de transmissão para dentina.....	121
Figura 5.20 Comparação entre os picos 1 e 3 de transmissão para dentina.....	122
Figura 5.21 Comparação entre os picos 2 e 3 de transmissão para dentina.....	123
Figura 5.22 Intervalos de confiança de 95% para absorbância em dentina: Pico1.....	124
Figura 5.23 - Intervalos de confiança de 95% para absorbância em dentina: Pico 2.....	125
Figura 5.24 - Intervalos de confiança de 95% para absorbância em dentina: Pico 3.....	126
Figura 5.25 - Comparação entre as transmitâncias total e direta para esmalte e dentina em ambas as espessuras.....	127
Figura 5.26 - Comparação entre as transmitâncias direta e total para dentina em ambas as espessuras.....	128
Figura 5.27 - Comparação entre as transmitâncias direta e total para esmalte em ambas as espessuras.....	129
Figura 5.28 - Gráfico comparando as médias das transmissões total e direta para esmalte dentina de ambas as espessuras.....	130

Figura 5.29 - Gráfico comparando as razões entre transmissão total e direta para esmalte e dentina.....	131
Figura 5.30 A – F Gráficos das transmitâncias espectrais para dentina em ambas espessuras.....	134
Figura 5.31 A – F Gráficos das transmitâncias espectrais para esmalte em ambas espessuras.....	138
Figura 5.32 A – F Gráficos das absorbâncias espectrais para dentina em ambas espessuras.....	141
Figura 5.33 A – F Gráficos das absorbâncias espectrais para esmalte em ambas espessuras.....	145
Figura 5.34 A – B Gráficos das transmitâncias espectrais total e direta para dentina em ambas espessuras.....	146
Figura 5.35 A – B Gráficos das transmitâncias espectrais total e direta para esmalte em ambas espessuras.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Divisão dos grupos para transmissão direta.....	83
Tabela 4.2 - Divisão dos grupos para transmissão total.....	96
Tabela 4.3 - Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para esmalte.....	97
Tabela 4.4 - Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para dentina.....	97
Tabela 5.1 - Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro UV.....	102
Tabela 5.2 - Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro UV.....	103
Tabela 5.3 - Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro VIS.....	104
Tabela 5.4 - Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro VIS	105
Tabela 5.5 - Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro IV	106
Tabela 5.6 - Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro IV.....	107
Tabela 5.7 - Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para esmalte.....	108
Tabela 5.8 - Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para dentina.....	108
Tabela 5.9 - Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 1 de transmitância.....	109
Tabela 5.10 - Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico2 de transmitância.....	110

Tabela 5.11 -Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 3 de transmitância.....	111
Tabela 5.12 -Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico1 de absorbância.....	115
Tabela 5.13 -Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 2 de absorbância.....	116
Tabela 5.14 -Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico3 de absorbância.....	117
Tabela 5.15- Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico1 de transmitância.....	118
Tabela 5.16 -Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 2 de transmitância.....	119
Tabela 5.17 -Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 3 de transmitância.....	120
Tabela 5.18- Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 1 de absorbância.....	124
Tabela 5.19 -Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 2 de absorbância.....	125
Tabela 5.20 -Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 3 de absorbância.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UV	ultravioleta
VIS	visível
IV	infravermelho
ν	frequência
Hz	hertz
m	metro
m ²	metro quadrado
nm	nanômetro
μm	micrômetro
I	intensidade de onda
n	índice de refração
h	constante de Planck
γ	gama
d	distância
sen	seno
cos	cosceno
θ	teta
I^0	fluxo incidente
Ln	logarítimo natural
α	coeficiente de absorção
x	espessura da amostra

Is	intensidade espalhada
Hcl	ácido clorídrico
M	mol
HAP	hidroxiapatita
LED	diodo emissor de luz
OC	ocluso cervical
VL	vestíbulo lingual
MD	mésio distal
Nd	neodímio
Er	érbio
Ho	hólmio
YAG	Yttrium Aluminium Garnet., granada de ítrio e alumínio
YLF	Yttrium Lithium Fluoride, fluoreto de ítrio e lítio
YSGG	Yttrium Scandium Gallium Garnet
He	hélio
Ne	neônio
Mw	miliwatt
cm ²	centímetro quadrado

LISTA DE SIMBOLOS

c velocidade da luz no vácuo

λ comprimento de onda

Δ passo óptico

T t transmitância

R refletância

$\%$ porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 REVISÃO DA LITERATURA	24
3 PROPOSIÇÃO	72
4 MATERIAIS E MÉTODOS	73
5 RESULTADOS	101
6 DISCUSSÃO	148
7 CONCLUSÕES	161
REFERÊNCIAS	162
APÊNDICES.....	165

1 INTRODUÇÃO

Luz é uma pequena fração do espectro eletromagnético. Compreende os espectros (UV) Ultravioleta, (VIS) Visível e (IV) Infravermelho. Assim como todas as outras faixas do espectro eletromagnético, como ondas de rádio e as microondas, a luz e suas faixas espectrais interagem conosco diariamente. Quando estamos expostos ao sol, o bronzeamento é conseguido pela interação da pele com os raios UV emitidos pelo sol e transmitidos através da atmosfera. Toda manifestação visual que percebemos ocorre pela interação dos comprimentos de onda do espectro visível com os objetos e com nossas estruturas oculares. Toda sensação que sentimos de uma fonte de aquecimento natural ou artificial, nos é passada pela interação com as ondas do espectro infravermelho, principalmente infravermelho próximo.

Fica claro então que a luz em suas diferentes manifestações espectrais nos afeta, através de vários sentidos, provocando as mais variadas sensações.

Na odontologia a luz em diferentes faixas espectrais é utilizada para os mais diversos fins, desde o diagnóstico dos tecidos duros, através da transiluminação, e da detecção de cáries por fluorescência, passando pela fotoativação de materiais restauradores e indo até a ablação e modificação da estrutura dentária, por lasers na faixa do UV, visível e infravermelho.

Torna-se importante então, que se estabeleçam parâmetros seguros para utilização de todas estas aplicações da luz. Investigações devem ser feitas para estudar o comportamento da luz no que diz respeito a esmalte e dentina.

Estas investigações tem sido feitas tendo por base o estudo das propriedades ópticas dos tecidos. Estas propriedades são a Refletância, Absorbância e transmitância. Sempre que um feixe de luz incide do meio para estrutura dental estes 3 processos ocorrem.

Os aparelhos mais utilizados para tais medições são os espectrofotômetros. Estes equipamentos são utilizados para medir os espectros destas propriedades ópticas, em diversos comprimentos de onda.

As informações obtidas a partir destes experimentos, geram identidades espectrais destes tecidos duros, que servem de padrão para o desenvolvimento de materiais restauradores, que mimetizem suas características e de equipamentos , como os lasers, que possam interagir com estes tecidos, de maneira terapêutica, segura e eficaz.

Para tanto uma compreensão de como a luz se propaga pelos tecidos dentais é fundamental para saber, entender, aplicar e indicar procedimentos que envolvam este tipo especial de radiação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta secção apresenta-se dividida em cinco partes. A primeira destina-se aos fenômenos básicos da luz. A segunda as interações da luz com a matéria. A terceira diz respeito aos espectrofotômetros e suas partes. A quarta diz respeito a revisão histológica dos tecidos dentais e a quinta a revisão das propriedades ópticas do esmalte e da dentina suas aplicações na odontologia.

2.1 Luz e radiação

2.1.1 conceito de radiação

Philips (1981) define “Radiação” como a emissão ou transferência de energia em forma de ondas eletromagnéticas. A unidade básica de uma energia radiante é o *fóton*. As ondas eletromagnéticas formam juntas um complexo chamado espectro eletromagnético, onde todos os tipos de radiações estão presentes. Antes, porém, é necessário saber o que é uma onda.

Segundo Jenkins e White (1981), o mundo ao nosso redor está cheio de ondas. Algumas podemos ver, outras escutar, mas muitas delas escapam ao nosso sentido. No

mundo submicroscópico, os átomos e moléculas são formados de elétrons, prótons e nêutrons que se movem como ondas, determinando seus próprios limites. Estimulados de maneira apropriada, estes mesmos átomos e moléculas passam, então, a emitir ondas as quais podemos chamar de raios γ (raios gama), raios X, ondas de luz, ondas de calor e ondas de rádio.

Em nosso mundo macroscópico observamos vários tipos de onda como, por exemplo, as ondas de água e ondas sonoras que são produzidas pelo movimento de massas de tamanho considerável. OS terremotos, por exemplo produzem ondas como resultado de mudanças repentinas nas camadas da Terra. Ondas de água são produzidas por ventos ou por corpos que passam por ela, como as embarcações e as ondas sonoras são o resultado de movimentos rápidos de objetos no ar.

Outro dado importante é que qualquer movimento que se repete em intervalos regulares de tempo é chamado de movimento periódico. O movimento pendular de um relógio, a vibração dos átomos, e o movimento de uma massa presa numa ponta de uma mola são três exemplos onde isso ocorre. Estes movimentos e muitos outros de natureza semelhante, ocorrem a todo instante na natureza e são conhecidos como *movimentos harmônicos simples*. Estes movimentos se repetem formando vibrações.

2.1.2 conceito de frequência e período

Se contarmos quantas vezes estes movimentos simples ou vibrações acontecem teremos a *frequência* com a qual estas vibrações ocorrem. Sendo assim, frequência de uma vibração é definida como o número de vibrações completas que

ocorrem por segundo. Se um corpo completa uma vibração em $\frac{1}{3}s$, o período (T) será de $T = \frac{1}{3}s$, significando que em 1 segundo este corpo realizará 3 vibrações completas.

Se um corpo realiza 10 vibrações em 1 segundo, seu período será $T = \frac{1}{10}s$. Em outras

palavras, a frequência das vibrações (ν) e o seu período (T) são recíprocos

: $\text{frequência} = \frac{1}{\text{período}}$ ou $\text{período} = \frac{1}{\text{frequência}}$. Em termos algébricos, frequência seria:

$\nu = \frac{1}{T}$. Se este movimento é descrito em um gráfico, em termos de um ponto p

movendo-se em círculo, a frequência dada pelo número de revoluções por segundo, ou ciclos por segundo será: 1 ciclo/segundo = 1 vibração/segundo, sendo agora chamada de hertz (Hz). Assim 1vib/s = 1 Hz. O movimento acima descrito foi, um movimento circular.

Outra característica deste movimento simples que deve ser salientado, é que ele pode ter uma direção e se propagar pelo espaço. É o que ocorre, por exemplo com as ondas de luz quando uma fonte apresenta um movimento harmônico simples e emite ondas através de um meio homogêneo. Suas ondas apresentam uma forma semelhante que é obtida quando agitamos, de maneira rítmica, uma corda presa a um ponto.

2.1.3 composição da onda e intensidade

Vale a pena recordar que uma onda é formada por cristas e vales (Figura 2.1). A distância entre as cristas consecutivas de uma onda é chamada de comprimento de onda (λ) e é, de maneira geral expressa em unidade de medida múltiplas do metro(m).Conforme a faixa do espectro em que se trabalha, a unidade do comprimento de onda muda, mas é sempre múltipla do metro. Por exemplo, no espectro Uv (ultra-violeta),no visível e infravermelho (próximo e médio) a unidade usada é o nanômetro (10^{-9}m). Já no espectro das microondas a unidade é o micrômetro (10^{-6}m). A freqüência de uma série de ondas é dada pelo número de ondas que chegam ou passam por um ponto qualquer em 1 segundo e, é expressa em hertz (Hz). Por definição, a freqüência(ν), o comprimento de onda (λ)e a velocidade das ondas (c) é dada pela equação : $\nu = \frac{c}{\lambda}$

2.1.4 intensidade de uma onda

Na óptica moderna, conceitua-se que a energia é transportada por ondas, ao contrário do que postulava Newton, que afirmava, que a luz era composta por partículas. A quantidade de luz que flui por segundo, por unidade de área, na direção perpendicular por onde passa a onda, é chamada de *intensidade* da onda (I). Se a onda flui com uma velocidade (v) constante, existe então uma *densidade de energia*, onde se

diz *energia total por unidade de volume*. A intensidade de uma onda é expressa em joules/m²/s. Quando uma onda atravessa um meio de dada espessura, a intensidade de onda diminui. Esta energia é perdida para o meio por onde passa a onda. Ambas, a intensidade de energia e a densidade de energia são proporcionais ao quadrado da amplitude e ao quadrado da frequência.

2.1.5 amplitude de onda

Por definição, a amplitude de uma onda é a altura total da oscilação dessa onda, partindo do topo ou da crista, até o fundo. Ela é aproximadamente constante, quando a energia viaja pelo espaço (vácuo), mas diminui, mais ou menos, rapidamente com a distância percorrida num meio. A amplitude também representa a quantidade de energia de uma onda. Quanto maior a amplitude maior a quantidade de energia da onda.

2.1.6 relação entre frequência e comprimento de onda

Sabe-se que qualquer onda é gerada por algum tipo de fonte de vibração e, a frequência das ondas é igual a da fonte de vibração. O comprimento de onda, num dado meio, é determinado pela velocidade neste meio, e é obtida pela razão entre velocidade e frequência. Desta forma, os comprimentos de onda são proporcionais às velocidades destas ondas nos meios onde se propagam. Quando a luz passa do vácuo, onde possui o comprimento (λ) e velocidade (c), para um outro meio, passa a ter

comprimento (λ_m) e velocidade (v) e se relacionam da seguinte maneira $\frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{c}{v} = n$.

Observa-se também que a frequência não se altera.

Figura 2.1 – Componentes de uma onda. O deslocamento y (oscilação) de qualquer ponto ao longo da onda, em um dado tempo (t) é dado pela distância vertical deste ponto da sua posição de equilíbrio (0). O valor varia constantemente de + para -. A amplitude de qualquer onda é dada pela letra a e é definida como valor máximo de deslocamento (oscilação) $+y$. A frequência de uma série de ondas é dada pelo número de ondas passando ou chegando a um dado ponto por segundo, e tem como unidade *hertz*, ou vibração por segundo. Por definição da frequência ν e do comprimento de onda λ , a velocidade das ondas v é dada pela equação: $v = \nu \cdot \lambda$. O comprimento de uma onda vezes o número de ondas por segundo é igual a distância que as ondas irão percorrer em 1 segundo

2.1.7 relação entre comprimento de onda e energia

GBC (1996) e Cienfuegos (1995) afirmam que o espectro eletro magnético pode ser definido em termos de energia dos comprimentos de onda. O comprimento de onda

é relacionado com a energia em termos da velocidade da luz (c) e a constante de

$$\text{Planck (h)} : E = \frac{hc}{\lambda}$$

Esta relação demonstra que, quanto menor o comprimento de onda maior será a sua energia, ou melhor, maior é a energia da luz neste comprimento de onda.

2.1.8 a velocidade da luz

Jenkins e White (1981) afirmam que a velocidade de todas as ondas do espectro eletro magnético no vácuo é de aproximadamente 3×10^8 m/s ou de 300.000 km/s. Todas as medidas em que se compara à velocidade da luz num dado meio, usa-se como base de comparação à velocidade da luz no vácuo. A energia contida no espectro eletromagnético vai desde a radiação gama (γ) com comprimentos de onda variando de 10^{-4} a 10^{-3} nm até ondas de rádio que possuem centenas de metros variando na casa dos 10^{11} nm.

O termo “luz” é mais utilizado fisicamente para os comprimentos de onda situados entre os raios x e as microondas, sendo respectivamente: Ultravioleta, visível e infravermelho. Toda a coleção de energia que compõe o espectro eletro magnético manifesta-se em ondas. Todas são semelhantes e variam de acordo com a frequência e o comprimento de onda. As ondas do espectro visível estendem-se do final do ultravioleta (380 a 400 nm) até o vermelho profundo (700 a 780 nm). Assim como não captamos todas as ondas sonoras acima de certa frequência, o olho humano também não responde as vibrações de luz com frequências maiores do que a do violeta extremo, e menores do que do vermelho extremo. Os limites, logicamente, dependem

da capacidade do indivíduo, e existem evidências de pessoas que conseguem captar imagens com luz em comprimentos tão menores quanto 300nm, mas estes são casos de fluorescência da retina. Nestes casos a luz apresenta uma tonalidade azul acinzentada e é danosa para o olho. Pode-se observar que o espectro visível ocupa uma fração quase que insignificante do espectro eletromagnético. Na figura 2.2 podemos ver o espectro eletromagnético e suas divisões

Figura 2.2 – Escala dos comprimentos de onda nos limites conhecidos do espectro eletromagnético. Observar que com o aumento dos comprimentos de onda ocorre a diminuição da energia e da freqüência das ondas

Embora existam linhas separando os diferentes comprimentos de onda elas são puramente formais, não existindo uma transição marcante entre um comprimento e outro, mas sim uma transição gradual. O mesmo vale para o espectro visível (Figura 2.3).

Figura 2.3 – Diferentes impressões visuais dos comprimentos de onda do espectro visível

Neste espectro, diferentes comprimentos de onda impressionam certas estruturas do olho humano dando sensações de cor diferentes, a saber: Violeta (380 a 450nm), azul (450 a 490nm), verde (490 a 560nm), amarelo (560 a 590nm), Laranja (590 a 630nm) e vermelho (630 a 760nm) (PRESTON ;BERGEN,1980) (Figura 2.3). Da mesma maneira, há divisões no espectro ultravioleta (100 – 380nm) a saber: UV-A (315 a 380nm), UV-B (280 a 315nm) e UV-C (100 a 280nm). As radiações, nesta faixa espectral, possuem diversas aplicações desde aplicações fotoquímicas (UV-A), fixação

da vitamina D (UV-B) até ação germicida (UV-C). Por sua vez, o infravermelho (780 a 10^6 nm) também apresenta divisões, a saber: IR-A (780 a 1400nm – também conhecido como IV próximo de ondas curtas), IR-B (1400 a 3000nm) também conhecido como infravermelho médio e IR-C (3000 a 10^6 nm) também conhecido como infravermelho distante (PHILIPS,1981). A radiação infravermelha também é estudada pela emissão desta radiação por corpos quentes e, sua energia é detectada e medida por instrumentos conhecidos como termopares. A radiação infravermelha é invisível ao olho humano. Não pode ser vista, mas é sentida como calor. De todas as suas bandas, a banda de ondas curtas é a que está mais fortemente ligada ao aquecimento ou produção de calor, quando comparada com os outros tipos de radiação.

Culozzi (2004), comenta que com respeito à interação dos comprimentos de onda com os tecidos biológicos, o espectro eletro magnético pode ser dividido em radiação ionizante, (essa capaz de alterar o DNA molecular) e, a radiação não ionizante. A porção ionizante abrange desde os raios x até a transição entre o ultravioleta e o espectro visível. A porção não ionizante inicia-se no visível e estende-se pelo infravermelho. No infravermelho a radiação também recebe o nome de radiação termal (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Porção de espectro eletromagnético mostrando as divisões entre as radiações ionizantes e termais de interesse biológico. Observe também a representação gráfica dos comprimentos de onda (COLUZZI, 2004)

2.1.9 índice de refração (n)

Jenkins e White (1981) definem índice de refração como a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) sobre a velocidade da luz num meio experimental (v). É dada pela fórmula: $n = \frac{c}{v}$. A velocidade da luz (c) é sempre mais alta no vácuo. Isso equivale a dizer que o índice de refração será sempre maior do que 1. Sendo assim qualquer meio (transparente ou translúcido) é um meio mais denso que o vácuo, sendo que nesse meio a velocidade da luz será sempre menor do que no vácuo, por isso a

medição do índice de refração dá a *densidade óptica* do meio. Diz-se então, que um meio que possui um alto índice de refração apresenta uma alta densidade óptica e, ao contrário, um meio que possui um baixo índice de refração apresenta uma baixa densidade óptica.

2.1.10 o passo óptico (Δ)

Jenkins e White (1981) colocam que o passo óptico representa a distância que a luz viaja no espaço ao mesmo tempo (t) em que viaja numa distância d em um meio qualquer.

O passo óptico é dado pela relação: $\Delta = n.d$

Quando a luz atravessa vários meios diferentes, o passo óptico é dado por : $\Delta = n.d + n'.d' + n''.d'' + \dots$ sendo que n é o índice de refração e n', n'' os índices de refração dos vários meios e d a distância que as ondas percorrem pelo meio e d', d'' as distâncias nos diferentes meios (Figura 2.5).

Figura 2.5 - O passo óptico através de uma série de meios ópticos

2.2 Interações da luz com a matéria

De maneira simples quando um feixe de luz incide sobre uma superfície ou meio, 3 processos principais podem ocorrer: reflexão, transmissão ou absorção. Estes processos também são conhecidos como propriedades ópticas do meio (Figura 2.6).

Fig 2.6 - Interações da luz com a matéria

2.2.1 reflexão

Philips (1981) define “reflexão” como a devolução de radiação por uma superfície, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos, dos quais a radiação é composta.

A reflexão pode ser total ou parcial. Quando total, o raio incidente atinge o limite entre dois meios, mas não penetra no meio subjacente e é totalmente refletido. Isso ocorre sempre que o ângulo (θ) formado entre o raio incidente e a normal é maior ou

igual ao ângulo crítico e, quando o índice de refração do meio de onde veio o raio de incidência (n) é maior do que o índice de refração do meio subjacente (n'), O ângulo crítico é maior do que o ângulo de reflexão parcial.

A reflexão parcial ocorre quando um raio de luz incide em um plano que separa dois meios diferentes como, por exemplo, ar e vidro. Parte deste raio é refletido de volta para o primeiro meio, no caso o ar, e o restante refrata, ou seja, desvia-se para o segundo meio, no caso o vidro. Jenkins e White(1981) comentam que o caminho tomado por estes raios pode ser descrito por duas leis bem conhecidas da óptica geométrica. A primeira e mais simples destas leis estabelece que o *ângulo de incidência deve ser igual ao ângulo de reflexão*. A segunda parte desta lei estabelece que, o raio refletido permaneça no plano de incidência e no lado oposto da normal, sendo que, o plano de incidência é definido como o plano que contém o raio incidente e a normal. Em outras palavras, o raio incidente, a normal e o raio refletido devem estar todos num mesmo plano, sendo este plano perpendicular a interface que separa os dois meios. A segunda lei é dirigida aos raios incidente e refratado, e coloca que o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo do raio refratado devem estar numa razão constante um com o outro, para todos os ângulos de incidência (Figura 2.7). Por fim o raio refratado também permanece em plano de incidência do lado oposto da normal. Esta relação é conhecida como Lei de Snell.

Figura 2.7 – Reflexão e refração no limite que separa dois meios com índices de refração respectivamente n e n' . Os ângulos de incidência e reflexão são iguais (ϕ) – Primeira lei. O seno do ângulo de reflexão e o seno do ângulo de refração mantêm uma relação constante – Segunda Lei : $\frac{\text{sen}\phi}{\text{sen}\phi'} = \text{const}$, quando consideramos nos índices de refração dos meios temos : $\frac{\text{sen}\phi}{\text{sen}\phi'} = \frac{n'}{n}$, relação esta conhecida como Lei de Snell

A reflexão pode ser também classificada como reflexão especular, difusa e mista. A reflexão especular é uma condição onde o raio refletido se apresenta sem difusão e de acordo com as leis da reflexão óptica, como um espelho. A reflexão difusa é uma condição onde o raio é refletido por difusão, que é uma modificação da distribuição espacial de um feixe de radiação, quando desviado em muitas direções por uma superfície ou meio. E a mista é uma condição onde parte do raio é refletido de maneira

especular e a outra parte de maneira difusa. Uma superfície extremamente polida geraria uma reflexão especular, uma superfície rugosa geraria uma reflexão difusa. Como exemplo de reflexão mista poderemos citar o esmalte humano (BRODBELT et al; 1981).

A razão entre o fluxo radiante incidente e o fluxo refletido é chamado de “refletância ou fator de reflexão” e é expressa em porcentagem de R (%R).

2.2.2 transmissão

Philips (1981) define transmissão como a passagem de radiação através de um meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos.

Os meios usados nos ensaios de transmissão devem ser meios translúcidos ou transparentes, pois devem permitir a passagem de luz. Preston e Berger (1980) comentam que, quando se pode identificar uma forma através de um meio diz-se que este meio é transparente, mas quando somente se percebe a passagem de luz, mas não se pode identificar a forma, diz-se que este meio é translúcido e quando a radiação não tem a habilidade de atravessar um meio, este meio é opaco.

Os materiais apresentam maior ou menor capacidade de transmissão, dependendo da faixa espectral em que se trabalha. A água apresenta translucidez no espectro visível, mas é quase opaca na faixa espectral do infravermelho médio. Já a borracha é opaca no espectro visível e, translúcida no infravermelho médio.

A transmissão pode ser regular ou direta, onde a radiação é transmitida através do meio sem difusão, pode ser difusa, onde ocorre difusão da radiação por refração, e

por fim pode ser mista, onde os dois tipos de transmissão estão presentes. Brodbelt et al.(1981) comentam que isto é o que ocorre com o esmalte e a dentina.

A razão, do fluxo radiante incidente (I^0) com o fluxo emergente do meio, (I) é chamada de “Transmitância” ou fator de transmissão e, é descrito pela relação: $T = \frac{I}{I^0}$ sendo expressa em porcentagem de T (%T).

2.2.3 absorção e absorbância

Jenkins e White (1981) comentam que quando um raio de luz atravessa um meio sólido, líquido ou gasoso, sua propagação é afetada em dois aspectos importantes: (1) a intensidade irá sempre diminuir em maior ou menor proporção a medida que a luz penetra no meio em questão e (2) a velocidade de propagação será menor no meio do que no espaço livre. A perda de intensidade é em maior parte devida a absorção, embora que em certas circunstâncias o espalhamento também contribua de maneira importante. A perda de intensidade é também chamada de extinção.

Quando o raio penetra num meio, diferente do vácuo, há absorção e perda de intensidade e também da amplitude das ondas de luz.

A lei de Beer-Lambert, também conhecida como a lei exponencial da absorção, define a perda de intensidade da luz que atravessa um meio com espessura x , e é dada pela fórmula:

$I = I^0 \cdot e^{-\alpha x}$, aplicando-se o logaritmo, temos: $\ln\left(\frac{I}{I^0}\right) = -\alpha \cdot x$, sendo (I_0) o raio incidente,

(I) o raio emergente do meio, (α) o coeficiente de absorção do meio e (x) a espessura

do meio. Como resultado a lei de Beer-Lambert possibilita o cálculo da “Absorbância” do meio.

2.2.3.1 absorção geral e seletiva

Uma substância apresenta uma absorção geral se a intensidade de todos os comprimentos de onda é atenuada de maneira semelhante. Para espectro visível isto significa que a luz transmitida não apresenta nenhuma cor marcante, ou seja, esta radiação é somente uma mera redução da luz branca e tais substâncias apresentam um aspecto acinzentado (JENKINS;WHITE,1981).

Entretanto, a maioria das substâncias apresenta a chamada absorção seletiva, onde certos comprimentos de onda são absorvidos em relação aos outros. É o que ocorre com praticamente todas as substâncias coloridas. Como por exemplo, um pedaço de vidro verde absorve completamente as porções, azul e vermelho do espectro, transmitindo o restante, o que dá uma sensação de verde ao olho humano.

GBC (1995) conclui esta afirmação comentando, que na verdade toda absorção ocorre a nível molecular. Neste nível as moléculas absorvem luz (energia) de determinados comprimentos de onda, dependendo do nível de energia de sua estrutura molecular. Quando comprimentos de onda possuem energia, a qual é equivalente à diferença entre as energias de uma molécula no seu estado normal e excitado, parte deste comprimento de onda será absorvido. Esta seletiva absorção de energia é a base das análises espectrofotométricas. O espectro é obtido medindo-se a quantidade de energia que é absorvida em função do comprimento de onda.(Figura 2.8).

Figura 2.8 – Nível de energia das moléculas

2.2.3.2 absorção e espalhamento

Anteriormente foi citado que quando a luz atravessa um meio existe uma diminuição de sua intensidade, e, que isso ocorria devido à absorção do meio. Existe, porém um fator que pode contribuir para essa perda de intensidade de maneira conjunta com a absorção, que é o espalhamento. A absorção é a medida da perda de luz do feixe principal, ou seja, na direção do feixe principal. Entretanto parte da luz pode emergir do meio para fora do eixo do raio principal (Figura 9), essa é a chamada energia espalhada ou difusa. Neste caso a extinção de luz se dará pela somatória da absorção e do espalhamento (van de HULST, 1981). O esmalte e a dentina apresentam este tipo de característica (BRODBELT et al., 1981).

Figura 2.9 – Espalhamento de luz pelas partículas de um meio. (I^0) – Intensidade incidente, (I) intensidade emergente do meio. (I_s) Intensidade espalhada e (d) distância ou passo óptico do meio

De maneira simples o espalhamento é um pequeno desvio do feixe de luz que se propaga, por um dado meio, de maneira retilínea (van de HUST, 1981). Este desvio se dá, por exemplo, por uma partícula que possui suas dimensões menores do que o comprimento de onda incidente. Fisicamente, esta é a definição de “difração” da luz. Logo espalhamento é difração. Indo mais além, a difração é o movimento que a onda faz na presença de um obstáculo de um dado tamanho, forma e composição, e ainda que toda a luz que se desvia da trajetória do feixe principal reaparece na forma de espalhamento.

Figura 2.10 – Espalhamento do raio incidente por uma partícula

O Espalhamento é um fenômeno importante na observação dos objetos. Quando olhamos para uma folha de uma árvore temos a sensação que esta folha apresenta uma cor verde. Isso é devido ao fato de que a luz verde espalha-se de maneira mais eficiente do que a luz vermelha, por exemplo. Olhando para o céu durante o dia, temos a percepção visual de que o céu é azul, isto porque a luz azul espalha pela atmosfera com mais eficiência dos que os outros comprimentos de onda do espectro visível.

Como visto anteriormente, espalhamento é difração e difração é um pequeno desvio de um feixe retilíneo de luz por ação de uma partícula que está na trajetória deste feixe. O mesmo raciocínio pode ser feito para um meio contendo “ n ” partículas.

Brodbelt et al. (1981) afirmam que isto é que ocorre quando temos difusão de um feixe de energia, e no estudo das propriedades ópticas dos tecidos dentais, esta difusão está sempre presente nos ensaios de transmitância. Manifesta-se nos casos de

transmitância total. Quando estes experimentos são medidos uma idéia da influência que o espalhamento exerce em determinadas faixas espectrais, pode ser notada.

2.3 Espectrofotômetros

GBC (1996) e Cienfuegos (1995) definem os espectrofotômetros como sendo aparelhos usados em fotometria para análise das propriedades ópticas dos materiais.

A composição básica de um espectrofotômetro é dada por GBC (1996) e é composta por:

- ✓ Uma *fonte de luz* que gere energia em determinados comprimentos de onda.
 - ✓ Um *monocromador* que selecione o comprimento de onda de interesse.
 - ✓ Um *compartimento para a mostra* para receber a amostra a ser estudada.
 - ✓ Um sistema de *detecção/amplificação* que meça a quantidade de luz transmitida pela amostra.
-
- ✓ Fontes de Luz

São basicamente lâmpadas que geram radiações estáveis em faixas específicas, como as lâmpadas de Tungstênio-Iodo que geram energia no comprimento de onda de 300-3200nm e as lâmpadas de Deutério que geram energia ultravioleta na faixa de 180-400nm.

✓ Monocromador

Monocromador é um dispositivo que decompõe a radiação em comprimentos de onda monocromáticos e permite o isolamento de qualquer parte desejável do espectro.

Um monocromador normalmente consiste de uma fenda de entrada para confinar a radiação em uma área utilizável, espelhos para propagar a luz pelo sistema e um elemento dispersante para distribuir a fonte de radiação em seus componentes básicos, ou seja, em seus comprimentos de onda e um orifício de saída, para selecionar o comprimento de onda que irá iluminar a amostra.

O coração de um monocromador é seu elemento de dispersão, no caso uma grade de difração a qual decompõe a radiação gerada pelas fontes de luz em comprimentos de onda elementares. Além disso, os espelhos são usados para direcionar a radiação de um ponto para outro, para providenciar foco e colimar o feixe. As fendas são aberturas através das quais a radiação entra e deixa o compartimento do monocromador (Figura 2.10).

Figura 2.11 – Esquema de um monocromador

✓ Compartimento da amostra

O compartimento da amostra possui uma cobertura que protege o detector de radiações externas. Ele contém os porta amostras para os diversos ensaios e é selado para proteger os componentes ópticos.

✓ Detectores

Detectores são dispositivos que convertem a energia radiante que os atinge em sinais elétricos para que possam ser processados. Basicamente existem dois tipos de detectores: Os detectores de iodo-silício com sensibilidade maior para o espectro visível

e infravermelho próximo e os detectores foto multiplicadores com sensibilidade maior para o espectro visível e ultravioleta.

Agora passaremos a revisão das estruturas dentais pesquisadas neste trabalho.

2.4 Estrutura e composição do esmalte e dentina humanos

Os tecidos duros dentais são materiais heterogêneos. O esmalte dental é um arranjo ordenado de cristais minerais de apatita cercada de uma matriz protéica contendo proteínas, lipídios e água. A dentina já é uma estrutura mais complexa. Possui um formato parecido com favo de mel com túbulos dentinários cercados por uma matriz de cristais de hidroxiapatita com formato de agulhas numa matriz protéica composta basicamente de colágeno. (FRIED et al., 1995). O componente mineral comum aos dois tecidos é a hidroxiapatita carbonatada e pode ser simbolizada pela fórmula $Ca_{10-x}Na_x(PO_4)_{6-y}(CO_3)_z(OH)_{2-u}F_u$, indicando que contêm principalmente cálcio, sódio, carbonato, hidroxila e íons fluoreto. (FEATHERSTONE, 2000).

2.4.1 esmalte

A estrutura do esmalte dental humano é descrita por Zijp, ten Bosch e Groenhius (1995) e por Odor et al (1996). Ela é composta de cerca 87% em volume de hidroxiapatita (HAP), sendo o restante composto de água e material orgânico,

basicamente proteínas. Os cristais e HAP são cilindros hexagonais com as seguintes dimensões: espessura 25nm, largura 40nm e comprimento 160nm. Os cristais estão organizados em prismas com formato de fechadura. Estes prismas, possuem de 4 a 6µm de largura e estendem-se do limite amelo-dentinário até a superfície externa do dente. A orientação desta trajetória não é retilínea, apresentando ondulações tanto no plano horizontal como no vertical. Isto resulta numa aparência que alterna faixas claras e escuras, chamadas de bandas Hunter-Schreger, que se estendem para 2/3 em direção ao interior do esmalte. De maneira superposta a estas bandas, existem linhas incrementais que se dirigem em direção oblíqua, do limite amelo-dentinário em direção a superfície do esmalte. Estas linhas representam as mudanças no ritmo de formação do esmalte, similar aos anéis de crescimento de uma árvore. Quando estas linhas se interseccionam na superfície do esmalte elas produzem um padrão ondulado de bandas separadas por finos sulcos, conhecido como periquimata ou linhas de embricamento. O limite amelo-dentinário também apresenta um formato ondulado. Tufos de esmalte, lembrando tufos de grama, aparecem próximo da junção amelo-dentinária, sendo que seus cursos seguem a direção dos prismas de esmalte.

A organização dos cristais nos primas possuem 2 direções. Na cabeça do prisma os cristais estão organizados quase que paralelamente enquanto que na cauda do prisma os cristais estão organizados de maneira perpendicular ao eixo prismático.

Entre os prismas, existe uma área interprismática com aproximadamente 0,1µm de espessura. Nesta região, a orientação dos cristais é aleatória, levando a um baixo conteúdo mineral, e a um alto conteúdo de água e material orgânico.

2.4.2 dentina

Zijp e ten Bosch (1993) descrevem a dentina como um conglomerado com vários compartimentos, apresentando um aspecto semelhante a um favo de mel, fenestrado. Segundo o autor esta característica é dada pelos túbulos dentinários que penetram na matriz dentinária. Na matriz dentinária, a dentina peritubular que circunda os túbulos e a dentina intertubular, apresentam características distintas.

A histologia dos túbulos dentinários e das dentinas intratubular e intertubular é descrita por ten Cate (2001). Segundo o autor, os túbulos são estruturas cilíndricas que se entendem por toda a espessura de dentina desde, a junção amelo dentinária até a polpa, e, sua configuração, indica o trajeto seguido pelos odontoblastos durante a dentinogênese. Eles resultam do caminho em forma de S, iniciado na superfície externa da dentina até o perímetro pulpar na dentina coronária. Tal curvatura em S é menos pronunciada na dentina radicular, sendo menos acentuada no terço cervical da raiz, e abaixo da margem incisal e das cúspides (onde elas podem seguir um curso reto). Tais curvaturas, chamadas curvaturas primárias, resultam da aglomeração dos odontoblastos, conforme eles se deslocam em direção ao centro da polpa. Pequenas oscilações dentro das curvaturas primárias, denominadas curvaturas secundárias, também ocorrem, mas, de que modo são produzidas, ainda não foi esclarecido.

Os túbulos dentinários são estruturas adelgaçadas, que medem aproximadamente 2,5 μm de diâmetro próximo à polpa, 1,2 μm na porção média da dentina e 900nm perto da junção amelo dentinária. Na região coronária dos dentes molares e pré-molares jovens, seus números variam de 59.000 a 76.000 por milímetro

quadrado, na superfície pulpar, e aproximadamente a metade por milímetro quadrado próximo ao esmalte. Tal aumento por unidade de volume decorre da aglomeração dos odontoblastos que resulta da diminuição do espaço pulpar. Recentes estudos mostram um aumento da densidade tubular nas paredes lingual e vestibular da polpa em relação às paredes mesial e distal.

Os túbulos dentinários ramificam-se e estendem-se pela dentina, permeando-a em um sistema canalicular com numerosas anastomoses. As ramificações caracterizam-se como maiores (500 a 1.000µm de diâmetro), finas (300 a 700µm) e micro (menos de 300µm). As maiores ramificações terminais dos túbulos, ocorrem com mais freqüência na dentina radicular do que na dentina coronária. As finas são bifurcações do túbulo principal em ângulo de 45°, em intervalos de 1 a 2 µm e, mais uma vez, são mais abundantes na dentina radicular, onde a densidade dos túbulos é mais baixa. Os microtúbulos estendem-se de túbulo a túbulo em ângulo reto. O túbulo dentinário geralmente contém o processo de um odontoblasto embebido em líquido tecidual, sendo revestido por uma bainha orgânica, a lâmina limitante, mas, há incerteza quanto à natureza exata do conteúdo do túbulo.

A natureza tubular da dentina confere um grau incomum de permeabilidade a esse tecido duro, que pode intensificar um processo carioso e acentuar a resposta da polpa aos procedimentos restauradores.

2.4.2.1 dentina intratubular (peritubular)

Dentro da dentina tubular, existe um anel hipermineralizado de dentina, facilmente visível quando cortes por desgaste não-des mineralizado são executados em ângulo

reto em relação aos túbulos e examinado ao microscópio óptico. Tal colar de dentina hipermineralizado (com conteúdo mineral 90% em volume e, 40% mais mineralizada que a dentina intertubular) se forma na verdade dentro do túbulo dentinário, estreitando o seu lúmen tubular. A dentina intratubular possui aproximadamente 44nm de largura próximo à terminação pulpar, e 750nm de largura perto da junção amelodentinária, sendo nitidamente demarcada da dentina intertubular

2.4.2.2 dentina intertubular

É como se denomina a dentina localizada entre os túbulos dentinários, constituindo o produto secretório primário dos odontoblastos e, consistindo em uma rede firmemente entrelaçada de fibrilas de colágeno tipo 1 (medindo entre 50 a 200 nm de diâmetro), na qual os cristais de apatita são depositados. As fibrilas organizam-se aleatoriamente em um plano aproximadamente perpendicular em relação aos túbulos dentinários, e os cristais de apatita (em média com 100 nm de comprimento) são geralmente orientados com os seus longos eixos paralelos à fibrila. A substância fundamental consiste em fosfoproteínas, proteoglicanos, γ -carboxiglutamato — contendo proteínas, glicoproteínas e algumas proteínas plasmáticas.

ten Cate (2001) ainda coloca mais um tipo de dentina chamada de dentina interglobular que na verdade é o nome dado a uma área de dentina não mineralizada ou hipomineralizada onde as zonas globulares de mineralização (calcosferitos) não se fusionaram em massa homogênea dentro da dentina madura. Tais áreas são especialmente prevalentes nos dentes dos seres humanos com deficiência de vitamina D ou que foram expostos a elevados níveis de fluoreto durante a formação da dentina

(dentinogênese). A dentina interglobular é observada, mais freqüentemente, na dentina circumpulpar (que é uma deposição mais organizada de dentina, que se segue no processo de dentinogênese, após a deposição da dentina do manto) logo abaixo da dentina do manto (que é a primeira matriz orgânica depositada pelos odontoblastos), onde o padrão de mineralização é bastante globular. Como tal irregularidade da dentina é um defeito de mineralização, e não a formação da matriz, o padrão arquitetural normal dos túbulos permanece inalterado. Entretanto não se observa dentina intratubular onde os túbulos atravessam os glóbulos.

Agora passaremos a revisão da aplicação das interações da luz com os tecidos duros dentais para o estudo das propriedades ópticas do esmalte e da dentina.

2.5 Propriedades ópticas do esmalte e da dentina

Os primeiros estudos sobre as propriedades ópticas dos tecidos dentais começaram em meados da década de 70, quando Spitzer e ten Bosch (1975) investigaram a absorção e o espalhamento de luz no intervalo de comprimento de onda de 220 a 700 nm, de fatias de 0,2mm de esmalte humano e 0,3mm de esmalte bovino. Os autores avaliaram a refletância e a transmissão total destas amostras com o uso de um espectrofotômetro com uma esfera de integração. A partir destes dados, calcularam os coeficientes de absorção e espalhamento, através de um modelo de duplo fluxo, onde as amostras eram avaliadas em ambos os lados. Após esta primeira avaliação os tecidos foram triturados e diluídos em uma suspensão de HCl a 0,1M, sendo que, a

absorção foi novamente medida em seguida. Os espectros mostraram um pico ao redor de 270nm em todas as amostras. Os autores concluíram que este pico era devido à absorção dos componentes orgânicos do esmalte basicamente amino ácidos aromáticos.

Walton, Outhwaite e Pashley (1976) estudando a permeabilidade de discos de dentina, notaram que ao colocá-los sobre superfícies listradas, as imagens vistas através dos discos aumentavam ou diminuía conforme o lado do disco, pulpar ou oclusal, por onde eram observadas. A fim de estudarem este efeito, os autores realizaram uma investigação, onde seccionaram discos de dentina, no sentido paralelo ao plano oclusal, com espessuras variadas de 1.0 a 2.0mm. Os discos foram colocados sobre um fundo branco com listras pretas, sendo que a distância entre as listras era de 0,5mm. Para o registro das imagens os discos foram fotografados sobre este fundo em ambos os lados. Este procedimento foi repetido para os discos desidratados e descalcificados. Para todas as condições observadas, quando os discos eram observados pela face oclusal um aumento entre as linhas da ordem de 1,7 vezes era apresentado e que quando eram invertidos, ou seja, observados pela face pulpar uma diminuição na mesma ordem aparecia. Os autores comentaram que esta proporção de 1,7 ocorria devido a diferença entre a densidade dos túbulos do lado pulpar em relação ao lado oclusal, sendo que no lado pulpar a densidade de túbulos por unidade de área era 1,7 vezes maior do que do lado oclusal.

Quanto às condições de hidratação e nos discos descalcificados, os autores comentaram que a luz se propagou melhor pelos discos hidratados em relação aos desidratados e que os descalcificados eram semelhantes aos hidratados. A substituição da água pelo ar influenciou bastante a qualidade das imagens. Isso foi explicado pela

diferença nos índices de refração da água ($n = 1,33$) e do ar ($n = 1$), sendo que o índice da água era mais próximo do índice da dentina ($n = 1,53$). Foi concluído então que os túbulos eram de maneira preferencial os condutores de luz na dentina, agindo com se fossem um aglomerado de pequenas fibras ópticas e que a divergência dos túbulos de pulpar para oclusal, também contribuía para o aumento e diminuição das imagens.

Apesar desta secção tratar apenas das propriedades ópticas dos tecidos dentais. O método de investigação por transmissão direta foi utilizado primeiramente por Brodbelt, O'Brien e Fan (1980), quando os autores compararam a diferença entre os coeficientes de transmissão direta e difusa, no comprimento de 525nm, de 5 tipos diferentes de porcelanas odontológicas. Para cada tipo de porcelana 5 cores diferentes foram selecionadas e 4 corpos de prova para cada cor com cerca de 1,0mm de espessura foram confeccionados. Os autores ainda realizaram um experimento adicional para investigar a influência da espessura na transmissão, utilizando uma cor de uma porcelana com 3 espessuras diferentes. Os resultados mostraram que, a transmissão total era cerca de 20 vezes maior que, a transmissão direta e que, com o aumento da espessura, uma diminuição da transmissão ocorria. Os autores comentaram que, a diferença entre os dois valores, representava a energia espalhada pelo material, pois na transmissão direta, a luz captada pelo detector era somente a luz que não se desviou do feixe principal, ao passo que, na transmissão toda a luz, seja ela na direção do feixe ou espalhada, era captada pela esfera de integração do aparelho. Os autores ainda identificaram o tipo de espalhamento, que ocorreu nas porcelanas, que segundo eles era do tipo Rayleigh, um tipo de espalhamento causado por partículas menores que o comprimento de onda incidente. Segundo este tipo de espalhamento os comprimentos de onda menores, transmitem menos luz, pois

espalham mais que os comprimentos de onda maiores, o que equivale a dizer que, quanto maior o comprimento de onda, menor é o espalhamento e maior é a transmissão, fato que foi demonstrado pelos espectros de transmissão.

Brodbelt et al (1981), estudaram a translucidez do esmalte humano. Para tanto, os autores determinaram a transmitância total de 36 discos de esmalte humano, hidratado, desidratado e reidratado, em um espectrofotômetro com esfera integradora. As amostras foram obtidas da face vestibular de incisivos superiores depois tratadas com lixa n.600 a fim de serem lidas no espectrofotômetro. Os autores mediram a translucidez destas amostras nos comprimentos de onda de 425, 525, 625, e 700nm. Os coeficientes e seus limites, no intervalo de confiança de 95%, foram então computados. O procedimento foi repetido para todas as condições de hidratação das amostras. Para avaliar a influência da desidratação os autores usaram um coeficiente onde, dividiram o valor do coeficiente da amostra desidratada pelo coeficiente da amostra hidratada, vezes 100. Os resultados mostraram que, a transmissão para todas as condições de hidratação era crescente, do menor para o maior comprimento de onda, mostrando que, havia influência do espalhamento do tipo Rayleigh no esmalte, sendo que, os coeficientes de transmissão de 700nm eram quase duas vezes maiores do que os de 425nm. O grau de hidratação também influenciou, sendo que, quando o esmalte foi analisado hidratado, os coeficientes eram sempre maiores em relação ao esmalte desidratado e que, nos reidratados os coeficientes voltavam a crescer, ficando semelhantes à condição hidratada. A substituição da água ($n = 1,33$) pelo ar ($n = 1,0$) ao redor dos prismas do esmalte ($n = 1,70$) foram responsáveis pelo aumento do espalhamento, diminuindo a transmissão e, portanto tornando a amostra menos translúcida.

O'Brien (1985) sumariza os fatores influentes na translucidez do esmalte e seu papel na cor do elemento dental. O autor coloca que, a translucidez varia em função do comprimento de onda e que, uma maior translucidez é atingida nos comprimentos de onda maiores, ou seja, na porção amarela vermelha do espectro visível. Quanto a hidratação, o esmalte é mais translúcido quando hidratado e, quando desidratado, esta translucidez cai, condição esta que segundo o autor, ocorre quando o elemento dental é preparado e está sob isolamento absoluto. No que diz respeito à cor o autor coloca que estas características afetam a percepção de cor, pois o esmalte age como um filtro de luz para a dentina, que funciona em duas vias, ou seja, quando a luz passa do meio, incide no esmalte, sendo transmitida para a dentina, que a reflete de volta, passando novamente pelo esmalte, saindo para o meio em direção ao observador.

O'Brien (1988) estudou a influência da estrutura do esmalte humano na propagação da luz. O autor estudou os padrões de difração de secções de 0.5mm de esmalte obtidos de superfícies vestibulares de incisivos humanos. Um arranjo experimental foi montado de forma que uma fonte luminosa, no caso um laser de HeNe ($\lambda = 633\text{nm}$) iluminava as amostras através de um orifício de $50\mu\text{m}$. As imagens resultantes desta transmissão, projetaram pontos alinhados em uma tela, sendo um ponto central e dois pontos distintos, um em cada extremidade. A distância entre estes pontos extremos e seus deslocamentos em direção ao feixe central foram medidos. O autor concluiu que, com este método, foi possível calcular a distância entre os prismas de esmalte na ordem de $5\mu\text{m}$, recomendando o método para se estudar a periodicidade prismática do esmalte. O autor também concluiu que, os prismas funcionariam como

difratadores de luz, espalhando-a, sendo que a estrutura periódica do esmalte funcionaria como pequenas fendas difratoras de luz.

Zijp e ten Bosch (1993) apresentaram e discutiram um modelo teórico para o espalhamento de luz na dentina humana. Os autores descreveram a estrutura da dentina e isolaram seus componentes, estudando assim a contribuição destes para o espalhamento de luz. Os autores relataram que o fenômeno do espalhamento era causado por dois processos distintos, os processos simétricos e assimétricos. Nos simétricos incluíram o estudo do espalhamento dos cristais de hidroxiapatita ($n = 1,64$) e das fibrilas de colágeno ($n = 1,49$). Estas estruturas foram inseridas neste processo por contribuírem para os processos de espalhamento, localizados simetricamente ao redor do feixe emergente. Os processos assimétricos de espalhamento incluíram os túbulos dentinários e sua influência no direcionamento da luz. Para esta parte da investigação, dois experimentos foram realizados, sendo um experimento de difração da luz pelos túbulos, e outro, para estudar o espalhamento da luz através dos túbulos e a capacidade destes de conduzir luz. Neste último estudo, uma teoria foi aplicada considerando os túbulos como cilindros retos circulares cheios de água ($n = 1,0$) inseridos em uma matriz dentinária ($n = 1,52$). Todos os cálculos foram feitos em um modelo virtual de dentina gerado a partir de dados da literatura em computador. Os resultados mostraram que, os cristais de hidroxiapatita geraram um espalhamento do tipo Rayleigh e, que sua contribuição para o espalhamento dentinário não era significativa. O mesmo ocorreu com as fibrilas colágenas. A maior parte do espalhamento foi causada pelos túbulos dentinários. Os autores ainda comentam que os resultados dizem respeito a uma simulação, já que os túbulos dentinários não são retilíneos apresentando curvaturas ao longo de sua extensão.

Ikawa, Horiuck e Ikawa (1994) investigaram as características ópticas dos dentes humanos extraídos e suas possíveis aplicações no diagnóstico da vitalidade pulpar. Os autores iluminavam os dentes com LEDs, com picos em 550 e 695 nm. Para registrar o sinal transmitido, um detector com sensibilidade maior para faixa dos 590nm foi colocado na face oposta. Os autores concluíram que o esmalte e a dentina funcionam como seletores de comprimentos de onda que chegam a polpa dental. Esses comprimento de onda foram transmitidos pelas estruturas. O LED de 565nm foi o mais eficiente, pelo fato de apresentar afinidade pela oxihemoglobina e ser mais absorvido por ela. Os autores ainda colocam que o registro da vitalidade seria dado pelos intervalos de detecção de picos neste comprimento de onda, já que os picos seriam coincidentes com a entrada de um afluxo de sangue oxigenado na polpa dental. Este método então poderia ser utilizado para diagnosticar a vitalidade pulpar.

Os espectros de absorção da dentina, esmalte, hidroxiapatita e da água deionizada, na faixa espectral de 300 a 3000nm, foram estudados por Roth et al. (1993). Os autores comentaram através deste estudo que, a irradiação infravermelha era absorvida de maneira preferencial pela água e pelos tecidos duros. O espectro de absorção da dentina, na faixa espectral estudada, mostrou que, devido ao seu maior conteúdo de água, a curva pode ser analisada apenas até a região de 2500nm devido a interferência da absorção da água nesta região. A curva da dentina mostrou um pico maior por volta dos 2000nm, e outro um pouco mais baixo na região de 2500nm. O espectro do esmalte mostrou um pico de absorção em 2800nm, sendo que o mesmo aconteceu com o espectro da hidroxiapatita livre de água. Devido ao alto componente de espalhamento dos tecidos minerais os autores não puderam precisar valores absolutos. Os autores concluíram que a absorção dos minerais pode ser detectada em

média entre 2760 e 2840nm com pico máximo em 2800nm no esmalte, e um pico um pouco menor para dentina em 2500nm, e que os espectros de absorção do esmalte e da dentina correspondem ao espectro de absorção da água.

As propriedades ópticas da dentina variam de acordo com sua localização intradental. White et al (1994), investigaram as propriedades óticas da dentina em função de sua localização no elemento dental. Amostras de 1,0mm ($\pm$ 0,25mm) foram obtidas a partir de terceiros molares, foram seccionadas das porções paralelas das faces oclusal (O), mesial (M), lingual (L), vestibular (V) e distal (D). Para cada região, um total de 3 amostras foi obtido. Os espectros de refletância (R) e transmissão (T), num intervalo de 200 a 2500nm, foram obtidos a partir de um espectrofotômetro utilizando esfera de integração. A absorbância (A) foi obtida através da relação $A=1-R-T$ para cada amostra e, o espectro médio foi obtido para cada localização. As amostras então foram secas por 3 dias e os espectros lidos novamente. Comparações entre os espectros foram realizadas para detectar diferenças em absorbância. Os autores detectaram diferenças na ordem de 10%. Os resultados mostraram que, duas regiões com intervalos entre 600 a 1400nm, e de 1500 a 2000nm, apresentaram as maiores diferenças. Quanto as diferentes localizações, houve diferenças sendo $O >> D > L = M > V$, nos espectros de absorbância. De maneira geral não houve diferenças nos espectros quando se comparavam leituras entre ambos os lados da mesma amostra. Quanto a desidratação, foi detectado diminuição em absorbância em todos os espectros. Os autores então concluíram que a dentina apresenta diferentes propriedades ópticas em diferentes regiões do dente.

Os espectros de transmissão direta e absorbância da dentina foram analisados por White et al. (1995). Os autores comentaram que a emissão do comprimento de onda ideal para ablação da dentina deveria apresentar alta absorbância e mínima transmissão direta, sendo esse um parâmetro racional para a segurança do uso dos lasers em tecidos duros, já que a energia deve ser absorvida no tecido alvo sem ser transferida para outras regiões. Neste estudo, as propriedades ópticas da dentina em relação a espessura foram medidas. Para tal, foram utilizados terceiros molares hígidos, seccionados paralelamente ao plano oclusal, produzindo 6 secções de dentina de 0,5, 1,0 1,5 e 2,0mm ($\pm 0,25$) de espessura, num total de 24 amostras. A refletância e a transmitância de cada fatia de dentina foram obtidas através de um espectrofotômetro com esfera integradora e, então, a absorbância foi calculada. As comparações espectrais foram feitas para 4 emissões de comprimentos de onda, correspondente aos seguintes equipamentos: Alexandrita (377nm), Argônio (488nm), Nd:YAG (1064nm) e Ho:YAG (2100nm). Os autores comentaram que a absorbância foi maior para o laser de Ho:Yag (93%) seguido pelo de Alexandrita (78%), Argônio (48%) e Nd:YAG (14%) em amostras de 2,0mm de espessura. Foi concluído que, a absorbância aumentava para todos os comprimentos de onda conforme a espessura aumentava e que a transmissão direta para os mesmos comprimentos foi sempre menor que 1%.

De maneira a investigar o comportamento óptico da estrutura do esmalte e da dentina sadios e sua compreensão na comparação entre tecidos sadios e afetados por cárie, Vaarkamp, ten Bosch e Verdenschot (1995) investigaram a propagação da luz através de amostras de esmalte e dentina. As amostras retangulares de 0,85mm de lado com cerca de 2,5 a 5,0mm de altura foram obtidas das porções proximais de um pré-molar. Esmalte e dentina estavam presentes na mesma amostra. As amostras

tiveram seus lados iluminados com diferentes ângulos de incidência, paralelos e perpendiculares a superfície proximal do dente, donde foram retiradas, por meio de uma sonda laser de HeNe ($\lambda = 633\text{nm}$). AS energias emergentes das amostras foram coletas com uma fotocélula e os dados tabulados. Os autores, comparando os dados obtidos por entre lados diferentes das amostras, para esmalte e dentina, obtiveram os valores de anisotropia do material que eram os coeficientes entre os fluxos emergentes das incidências paralela e perpendicular da mesma amostra para cada tecido. Concluíram que ambos os tecidos apresentavam anisotropia sendo que a dentina apresentava valores maiores que o esmalte. A anisotropia maior para a dentina foi atribuída a influencia dos túbulos dentinários, como agentes espalhadores de luz. Quanto aos valores de anisotropia do esmalte, foi apontado que a desidratação da amostra pode ter influenciado no resultado, mas que segundo os autores, a estrutura prismática teria uma influencia mais discreta no espalhamento de luz em comparação aos cristais de hidroxiapatita, que os compõe. Isto foi observado pela coloração amarelada da luz transmitida pelas amostras de esmalte, indicando um espalhamento do tipo Rayleigh. Os autores ainda apontaram que diferenças na composição química do esmalte ao longo da trajetória entre a superfície do dente até o limite amelo dentinário, também contribuía para a anisotropia observada.

De maneira similar, Fried et al. (1995) estudaram a natureza do espalhamento de luz no esmalte e na dentina humano no espectro visível e no infravermelho próximo. Para tanto, amostras de esmalte e dentina foram seccionadas a partir de terceiros molares, no sentido paralelo ao plano oclusal, com espessuras variando ente 30 e 2000 μm . Depois de seccionadas, as amostras foram lixadas manualmente até a lixa n.600. Para as leituras as amostras foram inseridas em líquidos com índices de refração

conhecidos e próximos aos dos tecidos analisados, método esse que segundo os autores forneceria dados mais precisos evitando o espalhamento na superfície da amostra. Três lasers foram utilizados como fontes de energia, sendo 2 lasers de HeNe ($\lambda = 543 \text{ nm}$ e 632 nm) e um laser de Nd:YLF ($\lambda = 1053 \text{ nm}$). Um detector móvel era posicionado em diferentes ângulos em relação a amostra para captar os sinais dos feixes emergentes. Os autores relataram que os resultados de transmissão apresentaram variações da ordem de 30% entre uma amostra e outra de mesma espessura e que havia também variações entre leituras realizadas em diferentes locais da mesma amostra. Estas diferenças foram atribuídas a grande variação apresentada pela tecido dentinário. Os autores também observaram que não era possível obter secções de dentina com túbulos paralelos e retilíneos, pois mesmos nas secções mais finas, desvios, curvaturas e divergências estavam sempre presentes. Os resultados mostraram que no esmalte, os cristais de HAP foram responsáveis pelo espalhamento de acordo com trabalhos semelhantes da literatura. Quanto a comparação entre o espalhamento da dentina e do esmalte, estes são dependentes do comprimento de onda, ou seja, quanto maior o comprimento de onda menor o espalhamento, mas a dentina devido sua estrutura apresenta espalhamentos maiores em relação ao esmalte. Da mesma maneira a absorção variou de acordo com o comprimento de onda, só que inversamente ao espalhamento, ou seja, ela ia aumentando a medida que o comprimento de onda aumentava, só que a dentina apresentou uma absorção maior quando comparada ao esmalte. Em relação aos comprimentos de onda utilizados, os autores colocam que o uso de lasers no comprimento de onda ao redor de 1000 nm no esmalte poderia levar a uma deposição de energia no limite amelo - dentinário. Isto porque o esmalte nesta faixa espectral é bastante translúcido apresentando uma baixa

absorção permitindo a transmissão desta faixa de energia em direção a dentina. Como a dentina apresenta maior absorção e maior espalhamento em relação ao esmalte, esta energia se depositaria no limite amelo dentinário sendo absorvida mais lentamente pela dentina. Isto poderia levar a um aquecimento elevado da subsuperfície, causando rachaduras no esmalte.

As interações entre a luz e os tecidos dentais pode levar a mudanças na temperatura interna do dente.

Seka et al. (1995) realizaram um trabalho para investigar a relação temperatura e comprimento de onda. Os autores compararam propriedades ópticas do esmalte e da dentina com as propriedades térmicas destes tecidos. Os autores obtiveram amostras de 1,0mm de esmalte e de 5,0mm de dentina que montados em um arranjo experimental foram irradiadas com diferentes lasers, a saber : Nd:YLF ($\lambda = 1054\text{nm}$), e Nd:YAG ($\lambda = 1064\text{nm}$) com parâmetros diferentes.

Os resultados mostraram que, em qualquer parâmetro experimental utilizado, esta faixa espectral era largamente transmitida pelo esmalte, sendo então pouco absorvida permitindo uma rápida passagem por esta estrutura em direção ao limite amelo-dentinário. Isso causava uma grande diferença de temperatura entre este limite e a superfície do esmalte, sendo de 5 a 10 vezes maior no limite que na superfície do esmalte. A temperatura diminuía então vagarosamente ao longo da dentina, devido a maior absorção deste tecido em relação ao esmalte sendo que poderia chegar alta ao tecido pulpar comprometendo sua vitalidade. O trânsito desta energia pela dentina também era atribuído ao espalhamento. Para uma área irradiada a dentina espalharia esta energia para uma área bem maior do dente em virtude do espalhamento. Os autores ainda extrapolaram este raciocínio para o espectro visível, afirmando que as

propriedades ópticas diferem pouco entre 500 a 1000nm, sendo que dessa maneira os mesmos efeitos poderiam ser observados.

Com o objetivo de estudar a influência da estrutura sadia do esmalte no espalhamento de luz, Zijp, ten Bosch e Groenhuis (1995) realizaram um trabalho, onde amostras de esmalte com cerca de 80 a 100µm obtidos da face vestibular de terceiros molares foram iluminadas com diferentes comprimentos de onda de 543, 594 e 633nm. A difração da luz e o espalhamento foram calculados nestas faixas. Foi observado que, as amostras emitiam uma luz amarelada em transmissão e uma luz azulada em reflexão, fenômeno esse já conhecido como resultado do tipo de espalhamento de luz no esmalte. Os autores apontaram que, os prismas desta vez eram os principais repensáveis sendo que, os cristais seriam apenas coadjuvantes contribuindo no processo de retroespalhamento a luz. Os autores ainda comentaram que se as amostras fossem seccionadas em outras direções, os parâmetros de espalhamento mudariam, o que causaria uma a mudança nas propriedades ópticas.

Odor et al. (1996) examinaram o padrão de transmissão da luz através do esmalte e dentina de dentes humanos e dentes caninos, a fim de desenvolver uma relação entre suas estruturas e a propagação da luz. Os dentes foram seccionados no plano sagital obtendo-se assim duas amostras por dente. As amostras foram montadas em um porta amostra, com a superfície exposta pelo corte voltada para um lente objetiva acoplada a um microscópio, ligada a um dispositivo de captura de imagem. As amostras eram iluminadas com um laser de HeNe ($\lambda = 633\text{nm}$). Este laser era posicionado a 45 e 90 graus em relação a superfície da amostra. Os padrões de transmissão foram então fotografados. Os autores afirmaram que a luz vermelha é transmitida através do dente e que as estruturas dentais funcionariam como fibras

ópticas. Os autores comentam que no caso do esmalte, quando a luz incidia sobre um prisma que corria paralelo a superfície da amostra, a luz incidente era refletida, ao passo que, quando os prismas estavam posicionados em 90 graus em relação a superfície da amostra, a luz incidida sobre a superfície era transmitida para o interior da amostra. De maneira semelhante, era o que ocorria com a dentina, sendo que, neste caso os túbulos eram os condutores de luz. Por fim, foi concluído que todo o dente era apto para coletar e transmitir luz através de sua estrutura e que isso ocorreu de maneira semelhante independentemente do ângulo de posicionamento da fonte luminosa em relação a superfície da amostra.

O estudo das características de transmissão dos tecidos duros no comprimento de onda visível também possui aplicações na polimerização de resinas compostas. Vogel e Salz (1997), fotoativaram resinas compostas através de discos com espessuras diferentes de esmalte e dentina, com interesse no intervalo de comprimento de onda de 450 a 490nm. Os autores avaliaram a profundidade de polimerização de 2 resinas compostas através de espessuras de esmalte e dentina que variavam de 0,2 a 0,8mm. A transmitância foi medida em função da espessura e os resultados mostraram haver um decréscimo em transmissão na medida que a espessura aumentava mas que, o mesmo não era linear. A dentina mostrou de maneira relativa uma transmissão bem menor que a do esmalte. Quanto a profundidade de polimerização, os autores fotoativaram a resina com potências variadas de 100 a 1000 mw/cm^2 e concluíram que uma polimerização adequada só foi conseguida quando uma densidade energia muito alta era utilizada.

Price, Murphy e Dérand (2000) investigaram a quantidade de densidade de energia (mW/cm^2) transmitida através de várias espessuras de resinas compostas e dentina humana, quando duas diferentes intensidades de luz eram usadas. Foram usados sete tipos de resinas compostas e dentina sadia humana. Os discos foram obtidos através de matrizes com $9,3 \pm 0,5\text{mm}$ de diâmetro e com espessuras de 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 mm, totalizando 30 discos de cada tipo de resina, sendo que cada uma tinha cinco espécimes de cada espessura. Os discos de dentina foram obtidos a partir de 10 molares humanos íntegros, cujas superfícies oclusais foram tratadas com lixas de diferentes granulações (de 120, 240 e 600), sendo então cortadas no sentido vestibulo-lingual produzindo cerca de 30 discos de dentina que variavam em espessura de 0,46 a 5,85mm. Os espécimes de dentina foram armazenados em água destilada, sendo retirados apenas no momento da leitura e depois foram secos por meio de corrente de ar por 48 horas e lidos novamente. Todas as leituras foram obtidas através de um radiômetro digital. A fonte de energia usada foi um aparelho de fotoativação modelo Optilux 500, onde os autores utilizaram duas fibras, sendo uma normal de 8mm e outra tipo Turbo, também de 8 mm. Os autores concluíram que com o aumento das espessuras dos materiais e da dentina a quantidade de energia medida através destes corpos diminui, mesmo quando a ponta Turbo era usada. No caso da dentina o mesmo ocorreu, registrando um dos menores valores por espessura e que um decréscimo de aproximadamente 50% na transmissão de energia era computado quando a espessura do disco aumentava. Os autores explicaram este fato relatando que o decréscimo da energia estava ligado ao fato de os fótons de luz serem mais absorvidos e espalhados do que transmitidos. Os autores também concluíram que a dentina hidratada transmite mais energia que dentina seca, recomendando sempre o

trabalho com dentina umedecida. O trabalho ainda reporta que poderá haver deficiência na energia transmitida através de espessuras a partir de 2,0mm de dentina e de 2,5mm de resina composta, nos casos clínicos onde seja utilizado cimentos fotoativados.

Featherstone (2000) comparou as propriedades ópticas do esmalte e da dentina com suas aplicações na odontologia. O autor comentou que o profissional deve ter conhecimento do comportamento dos tecidos em diferentes faixas de comprimento de onda para escolher o equipamento adequado para a função desejada. Para o espectro visível (400 a 700nm) a dentina e o esmalte apresentaram baixa absorção sendo que de maneira relativa a absorção é mais baixa para o esmalte em relação a dentina. No espectro UV (240 a 380 nm) a absorção aumenta para ambos os tecidos. No que diz respeito ao espalhamento este diminuiu rapidamente do Uv até o fim do visível e de maneira geral o espalhamento e absorção nestas faixas foram relativamente maiores para a dentina em relação ao esmalte. A absorção e o espalhamento então se relacionam de maneira inversa, ou seja, à medida que o comprimento de onda aumenta a absorção aumenta e o espalhamento diminui. De maneira geral o autor classificou que para o espectro visível e na primeira porção do infravermelho próximo até a região dos 1400nm os tecidos apresentam baixa absorção. Neste caso as aplicações lançam mão da baixa interação dos tecidos com a luz, sendo utilizadas em polimerização de resinas na região de 470 a 480nm, onde o espalhamento nesta faixa, dispersaria a luz para cobrir uma região maior da área a ser polimerizada e no diagnóstico de lesões de cárie através do esmalte, sendo que o tecido permite uma maior passagem de luz, que será absorvida pela lesão subjacente. O autor ainda ressaltou que o uso de lasers de tecido duro nessa região como no caso do Nd:YAG necessitaria de um maior controle de seus parâmetros já que esta energia é altamente

transmitida pelo esmalte e moderadamente transmitida e espalhada pela dentina até regiões subjacentes.

Quanto ao infravermelho médio já na região entre 2500 e 3000 nanômetros, uma absorção elevada dos tecidos foi observada e o espalhamento poderia ser considerado muito próximo de zero. Desta forma, a interação da luz foi quase que total, sendo muito pouco transmitido para o tecido subjacente, o que tornou mais seguro o uso de lasers de tecido duro como Er:YAG (2940 nm) e Er:YSGG (2740nm) nessa região . Devido a alta absorção destes tecidos nestas faixas, estes aparelhos são indicados para a ablação de tecido duro, seja na remoção de cárie ou na confecção de preparos cavitários. Estes equipamentos também funcionam com spray de água que tem picos de absorbância coincidentes com a hidroxiapatita. Esta alta absorção permite que toda a energia seja absorvida em até 100µm de tecido, sem comprometer os tecidos subjacentes.

Coluzzi (2004) descreve, em artigo de revisão, o papel da transmissão e do espalhamento nos comprimentos de onda utilizados em lasers na odontologia. O autor comenta que a transmissão é a capacidade que um dado comprimento de onda tem de atravessar um tecido com mínima interação até ser absorvido pela tecido subjacente, o que seria o inverso da absorção. Este comportamento seria dependente do comprimento de onda. O autor coloca que a água o esmalte e, de maneira relativa, a dentina são transparentes em comprimentos de onda baixos, onde os lasers de argônio, diodo e Nd:YAG são utilizados e que a medida que o comprimento de onda aumenta, indo ao infravermelho médio, a transmissão diminui drasticamente aumentando a absorção, onde os lasers de tecidos duro Er:YAG Er:YSGG são utilizados.

Quanto ao espalhamento, o autor comenta que no caso dos lasers esta propriedade não causa nenhum efeito biológico na interação dos tecidos, pois espalha a energia além dos limites do tecido alvo, diminuindo a eficiência, e alterando estruturas adjacentes e podendo causar danos a estruturas sadias. A única utilidade do espalhamento no que diz respeito a lasers seria no caso da fotoativação de resinas por laser de argônio, pois a radiação espalhada cobriria uma superfície maior da restauração facilitando assim a polimerização.

Como conclusão, o autor reforça que o profissional deve conhecer as possíveis interações da luz com a matéria a fim de escolher o comprimento de onda e o equipamento correto para cada situação clínica.

3 PROPOSIÇÃO

- 3.1 Estudar e comparar a transmitância direta e a absorbância nas porções Uv (ultravioleta), VIS (visível) e IF (infravermelho) para esmalte e dentina.
- 3.2 Comparar nas faixas espectrais do ultravioleta, visível e infravermelho a influência da espessura e do sentido de irradiação da amostra.
- 3.3 Comparar a relação entre os espectros de transmitância total e direta no intervalo de comprimento de onda de 380 a 760 nm para ambos os tecidos e espessuras estudadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

- Água deionizada
- Pedra pomes (SS White, Rio de Janeiro, Rj, Brasil).
- Escovas tipo Robinson (KG Sorensen, Barueri, Sp, Brasil).
- Disco de Diamante n.12205 (102mm x 0,3mm x 12,7mm) (Exttec , Enfield, Cn, EUA)
- 30 molares humanos íntegros
- Papel absorvente (Kimwipes, Kimberly-Clarck Corp EUA).
- Discos de lixa abrasiva de granulação 120 320, 400,600,1200 (Exttec Lab Grade, Enfield, Cn, EUA).
- Cera utilidade (Clássico – São Paulo, SP, Brasil).
- Cureta Periodontal n. 13/14
- Esculpidor Hollenback n.3
- Mangueira Plástica Transparente de $\frac{3}{4}$ (Tigre, São Paulo, SP, Brasil).
- Frascos Plásticos com tampa de 20ml
- Máscaras individuais para transmitância direta com orifícios de 1,0mm de diâmetro
- Spray preto fosco (Colorgin spray – Colorgin, São Paulo, SP, Brasil).

- Resina (Redelease Resina 2110 São Paulo, Sp, Brasil).
- Vaselina Sólida (Sidepal – São Paulo, SP, Brasil).
- Fita adesiva dupla face (3M – São Paulo, SP, Brasil).

4.2 Equipamentos

- Espectrofotômetro UV-VIS-NIR (Hitachi spectrophotometer Model U-3501 Tokio, Japão).
- Esfera de integração (Integrating Sphere 60mm DIA UV-VIS Region).
- Porta amostra para transmissão direta (210-2112 Film Holder Sample).
- Máquina de seccionamento de espécimes Labcut 1010 (Extec, Enfield, Cn, EUA).
- Politriz de espécimes (EcoMet Buelher Ltd Lake Bluff,IL,EUA).
- Paquímetro digital (Mitutoyo, Japan).
- Micromotor e contra ângulo (KAVO – Brasil)

4.3 Métodos

4.3.1 Seleção e preparo das amostras

4.3.1.1 obtenção dos dentes

Para a realização deste trabalho *in vitro*, foram selecionados 35 dentes molares hígidos fornecidos pelo banco de dentes humanos da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo e submetidos à avaliação, juntamente com o projeto de pesquisa original deste trabalho, ao Comitê de Ética e Pesquisa desta mesma instituição, sendo aprovado pelo parecer (protocolo 173/04).

4.3.1.2 profilaxia

Os dentes foram submetidos a uma seqüência de profilaxia, iniciando-se com uma curetagem das superfícies corono-radiculares para remoção de restos teciduais e cálculos, finalizando para uma limpeza destas superfícies, uma mistura de pedra pomes e água, em baixa rotação, aplicada com escova tipo robinson montada em um sistema de contra ângulo + micromotor (KAVO).

4.3.1.3 inclusão dos dentes

Após a profilaxia, os dentes foram preparados para a inclusão, a fim de serem seccionados. Os dentes foram posicionados dentro de secções cilíndricas de $\frac{3}{4}$ de diâmetro por 2,0cm de altura obtidos de uma mangueira plástica transparente (Tigre). Depois de cortados, os cilindros tiveram aplainado suas extremidades, a fim de se obter a altura desejada e, também, para propiciar um maior paralelismo entre estas extremidades. Este aplainamento foi conseguido através de um desgaste realizado em uma politriz (Ecomet) com uma lixa n.120 a 250rpm sob refrigeração. Feito os ajustes, os cilindros foram vaselinados internamente (Sidepal) e pressionados contra uma placa de cera utilidade, até que penetrasse cerca de 2,0mm na cera. Para cada placa de cera, foram inseridos 8 cilindros com uma distância aproximada de 5mm um do outro. Cada cilindro recebeu um dente, que foi fixado, tendo seus ápices radiculares inseridos dentro das bases de cera. Procurou-se posicionar os dentes, o mais próximo possível do centro do cilindro, levando assim a uma distância adequada de todas as faces axiais do dentes das paredes do cilindro. Os dentes foram posicionados tendo-se como base o maior paralelismo possível da face oclusal com o plano horizontal de acordo com a figura 4.1. Uma resina epóxica (Redlease) foi então preparada na proporção de 100g de base para 35 gotas de catalisador e vazada no interior dos cilindros com o auxílio de uma espátula de madeira, de forma que a resina preenchesse os espaços o mais regularmente possível, evitando bolhas e evitando também o deslocamento dos dentes de suas bases. Os cilindros foram preenchidos até seus topos, sendo depois colocados em uma capela para aguardar a completa polimerização da resina por aproximadamente 2 horas.

Após este período, os cilindros foram removidos da placa de cera e o conjunto dente+resina foi liberado por meio da inserção da ponta de um esculpido Hollenback n.3 ao redor do conjunto e pela aplicação de uma pressão digital na base do cilindro.

Figura 4.1 - Esquema de inclusão dos dentes para serem seccionados, vistas superior e frontal

4.3.1.4 posicionamento e secção dos dentes

Os dentes foram aleatoriamente numerados de 1 a 30 e divididos em 3 grupos segundo a orientação de corte, sendo 10 dentes no sentido OC (Ocluso – cervical), 10 dentes para o sentido VL (Vestíbulo – lingual) e 10 para o sentido MD (Mésio-Distal). O posicionamento na máquina de corte (Labcut) seguiu o sentido do corte em questão. Esta máquina possui dois portas-amostras possibilitando que a mostra fique posicionada com a face oclusal paralela e/ou perpendicular ao plano de corte do disco. Para o sentido ocluso cervical apenas o posicionador paralelo foi utilizado e para os

demais, foram utilizados os dois, sendo o perpendicular para separar as fatias entre si e o paralelo para liberá-las do remanescente, liberação esta feita no nível da linha de colo. O esquema de posicionamento dos dentes para os cortes pode ser visto na figuras 4.2 e 4.3.

Figura 4.2 - Posicionamento do dente para corte axial (VL) ou (MD) Vistas Lateral (A) a Frontal (B)

Figura 4.3 - Posicionamento do dente para no plano oclusal (VL) ou (MD) Vistas Lateral (A) a Frontal (B)

Os cortes foram realizados a uma velocidade de 150rpm sob refrigeração. Esta velocidade foi escolhida para maior preservação das estruturas, pois em pilotos anteriores o esmalte fraturava em velocidades maiores. A espessura escolhida foi de 0,7mm para o corte, pois, a máquina não permitia uma precisão ideal de 0,5mm obtida diretamente. Isto foi verificado no piloto onde seccionamos um cilindro de acrílico e verificamos que as espessuras menores que 0,7 mm não eram constantes e que quando executadas geravam espessuras diferentes, o que poderia gerar uma perda de cortes, por dente, muito elevada. Os cortes foram então realizados tendo como ponto de partida:

- A porção mais oclusal terminando na porção mais cervical até o teto da cavidade pulpar no caso dos cortes OC;
- A face mesial, terminando na distal, no caso dos cortes MD;
- A face vestibular terminando na lingual, no caso dos cortes VL.

O esquema dos cortes pode ser visto na figura 4.4.

Figura 4.4 - Esquema de corte dos dentes. (A) - Sentido mésio - distal; (B) - Sentido vestibulo -lingual; (C) - Sentido ocluso - cervical

Os cortes, assim que liberados do remanescente, tinham a armação de resina removida e imediatamente inseridos em recipientes individualizados, numerados segundo a posição de origem do corte e o número do dente.

Os recipientes foram numerados seguindo a ordem, do número do dente (D) e número crescente para as fatias (cp). EX: Dente 20 é um dente VL com 10 fatias, então a seqüência de fatias foi numerada da seguinte maneira: fatia 1 – D20cp1, fatia 2 – D20cp2 e assim por diante até fatia 10 – D20cp10.

Desta forma cada dente gerou uma série de recipientes sendo que estes foram agrupados em pequenas embalagens plásticas.

Cada recipiente continha 20ml de água deionizada. Os cortes foram mantidos sob refrigeração 4°C até o momento de serem lixados (PELINO, 2002).

4.3.1.5 preparo das espessuras.

A fim de se conseguir as espessuras desejadas, os cortes foram lixados manualmente, sob refrigeração, em uma série de lixas (320,400 e 600). Ambos os lados foram lixados, sendo que durante todo o processo os cortes foram medidos constantemente com um paquímetro digital (Mitutoyo) sempre em 3 pontos a fim de se controlar a espessura. Este controle foi particularmente importante, pois tínhamos no mesmo corte dois tecidos com durezas diferentes, o que poderia levar a um maior desgaste da dentina em relação ao esmalte, principalmente nos casos onde o esmalte não estava presente em todo o contorno da amostra, como os cortes MD e VL. Nestes casos, se procurava exercer pressão sobre o esmalte. Antes de iniciar o preparo das amostras, os dentes foram novamente aleatoriamente divididos, agora em função da

espessura, sendo que para cada grupo de 10 dentes, 5 foram selecionados para 1/2mm e 5 para 1/4mm. Para facilitar o tratamento estatístico agrupamos os dentes por sentido e por espessura.

A configuração final dos grupos ficou da seguinte maneira.

Dentes com fatias de 1/2mm de espessura:

OC: D11;D24;D16;D20;D21

VL: D13;D5;D12;D23;D14

MD: D8;D22;D17;D7;D18

Dentes com fatias de 1/4mm de espessura:

OC: D27;D10;D3;D15;D2

VL: D29;D28;D25;D9;D1

MD: D19;D26;D31;D30;D4

Tabela 4.1 – Divisão dos grupos para o ensaio de transmitância direta

GRUPOS 1/2MM			GRUPOS 1/4MM		
G1	G2	G3	G4	G5	G6
VL _{0,5}	OC _{0,5}	MD _{0,5}	VL _{0,25}	OC _{0,25}	MD _{0,25}

Os cortes foram então lixados, em uma seqüência granulométrica crescente com lixas de 240 e 320 e 400 para o ajuste da espessura e, finalizando com a lixa 600 para um ajuste mais fino. Todos os cortes foram lixados com água deionizada e em ambos os lados (FRIED ET AL., 1995).

Após este preparo todas as amostras foram novamente armazenadas em água deionizada e mantidas sob refrigeração a 4°C até o momento da leitura no espectrofotômetro.

4.3.3.6 número de fatias por dente

O número de cortes por dente foi variável. Isto ocorreu porque a escolha foi aleatória e, ocorreram vezes em que um maior ou menor número de cortes coincidia com o maior ou menor eixo (VL ou MD) do dente em questão. Como por exemplo, no

grupo dos dentes VL, um maior número de cortes era associado a um molar superior (que possui o comprimento VL maior que o MD), enquanto que um menor número de fatias era associado a um molar inferior (que possui o comprimento VL menor que o MD). Quanto aos dentes seccionados no sentido OC, um maior ou menor número de cortes era associado ao tamanho da câmara pulpar. Como não foi feito nenhum controle sobre a idade dos dentes, havia câmaras pulpares com dimensões diferentes, o que limitava neste caso o número de fatias. Este foi o grupo onde se obteve o menor número de cortes por dente. Ainda no que diz respeito ao grupo OC, os primeiros cortes da oclusal não foram utilizados em alguns dentes para a leitura da dentina, pois estes dentes possuíam uma grande espessura de esmalte, o que poderia interferir na leitura da dentina.

Nem todas as fatias foram aproveitadas para a leitura, principalmente do esmalte. Isto ocorreu devido ao preparo das espessuras onde, às vezes, o esmalte se destacava, e porque a área de esmalte disponível na fatia após o preparo da espessura era algumas vezes, insuficiente para cobrir a janela da máscara de leitura, como veremos a seguir.

4.3.2 ensaio de espectrofotometria

Para o ensaio de espectrofotometria utilizamos um espectrômetro de feixe duplo (Hitachi spectrophotometer Model U-3501) do Laboratório do LAS (Laboratório Associado de Sensores e Materiais) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em São José dos Campos – SP.

Os ensaios realizados foram de Transmissão Direta e Transmissão total, ambos nas faixas espectrais de 200 – 3200nm e de 380 a 760nm respectivamente.

4.3.2.1 parâmetros de leitura

Os parâmetros de leitura no espectrômetro baseiam-se na velocidade de leitura (nm/min) e no passo de leitura o que poderíamos chamar de resolução de leitura. Esta resolução nos dá de quantos em quantos nanômetros a leitura é feita. Estas duas variáveis são interligadas de tal forma que, quanto menor o passo de leitura menor a velocidade.

Neste trabalho, a preocupação maior foi a de investigar o espectro como um todo e, de preferência, num menor espaço de tempo. A questão do tempo era importante, pois estávamos trabalhando com amostras hidratadas que estariam susceptíveis a desidratação. Para tanto, realizamos um teste para investigar a perda de hidratação em função do tempo.

O teste realizado foi o Timescan, ou melhor, a leitura de um comprimento de onda repetidas vezes em intervalos regulares por um dado tempo. Escolhemos aleatoriamente dois cortes com espessuras de $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ mm respectivamente. Os cortes foram posicionados e as leituras para esmalte e dentina realizadas segundo os seguintes parâmetros:

- Comprimento de onda: 600nm
- Intervalos de leitura: 10s
- Tempo total de leitura: 10 minutos

As amostras eram posicionadas como descrito mais adiante e depois, permaneciam em posição até o fim do ensaio.

Como resultado obtemos os seguintes gráficos:

Figura 4.5 Desidratação do esmalte em função do tempo

Figura 4.6 Desidratação da dentina em função do tempo

Nos pareceu claro, que a desidratação ocorria em ritmos diferentes para esmalte e dentina e, também, de maneira diferente em função da espessura. O teste nos indicou então uma velocidade de leitura elevada (1200nm/min) e, em função da velocidade, o passo de leitura de 5nm. Também nos pareceu mais apropriado iniciar a leitura do corte pelo esmalte para depois ler a dentina.

Para ambos os ensaios, os parâmetros de leitura foram: Velocidade de leitura de 1200nm/min e passo de 5nm.

4.3.2.2 ensaio de Transmissão Direta (Td)

No ensaio de transmissão direta amostra e controle são expostos, simultaneamente, a uma faixa espectral pré-selecionada, no caso de 185 a 3200nm.

Para tanto utilizamos um acessório (210-2112 Film Holder Sample) como porta mostra para controle e espécime. Este acessório possui dois encaixes paralelos e alinhados com os feixes do controle e da amostra. Como nossa amostra apresentava dimensões muito restritas e, ainda tínhamos dois materiais diferentes na mesma fatia, foi necessário a confecção um tipo de máscara que selecionasse um tecido ou outro para ser lido no aparelho.

4.3.2.3 confecção da máscara de leitura

A fim de confeccionar a máscara era de suma importância que esta estivesse alinhada com a trajetória do feixe emitido pela fonte de luz do aparelho. Para tanto,

selecionamos no software de operação, um comprimento de onda no espectro visível, no caso 600nm. Uma cartolina branco com as dimensões do encaixe do porta amostra foi inserida e foi marcado na cartolina, com uma grafite n.05, a posição de incidência do feixe de luz. Esta cartolina teve então suas dimensões transferidas para uma folha de latão de 1,0mm de espessura. Esta folha foi recortada em uma guilhotina para metal e um furo, com 1,0mm de diâmetro, foi feito para a passagem da luz. Esta máscara então foi duplicada para que pudéssemos ter uma máscara para o controle e uma máscara para a amostra.

Ambas as máscaras foram pintadas com spray preto fosco (Colorgin Spray) para que não houvesse interferências no sinal de leitura e foram posicionadas no porta amostras. Uma linha de base ou baseline foi feita. Esta linha foi feita com ambas as máscaras vazias e nos deu a informação de que a luz passava de maneira bem semelhante em ambas. O resultado do baseline era uma linha plana ao eixo X e bem próxima do 100% de transmissão no eixo Y. A partir deste momento as máscaras foram identificadas quanto ao seu lado, quanto ao feixe e a sua posição (amostra ou controle), sendo que a máscara do controle permaneceu posicionada até o fim dos ensaios, de maneira a minimizar erros de leitura.

4.3.2.4 posicionamento e leitura dos cortes

Os dentes foram cortados em sentidos específicos, logo, este sentido precisava ser mantido na leitura. Para tanto era necessário remontar a seqüência dos cortes na seqüência correta porque os frascos continham o número seqüencial, mas não o lado

do corte. A partir do primeiro corte toda a seqüência era remontada. Isso assegurou que todos os cortes fossem percorridos no mesmo sentido. Este sistema foi aplicado para os sentidos MD e VL. No caso dos sentidos OC, a remontagem foi feita pela translucidez da dentina como descrito por Walton, Outhwaite e Pashley (1976).

No momento da leitura, uma configuração foi montada. Um disco de impermeável de lixa n.1200 de coloração cinza escuro, foi usado como background na montagem da seqüência dos cortes. Isso nos dava duas vantagens importantes. A primeira, propiciava que os cortes ficassem sempre imersos em água, pois como o disco de lixa era impermeável e possuía uma tensão superficial muito grande, gotas de água deionizada aplicadas com uma pipeta acoplada a uma pêra eram colocadas na superfície da lixa cobrindo os cortes. A segunda grande vantagem foi o contraste fornecido pela tonalidade escura, que auxiliava de sobremaneira a remontagem dos dentes principalmente no caso do sentido OC. Os cortes só eram retirados da água deionizada para serem lidos.

Todas as fatias eram posicionadas na parte posterior da máscara da amostra, ou seja, voltadas para o detector.

Para a fixação da amostra foi utilizada uma fita dupla face (3M). A fita foi recortada para uma largura de 5mm e aplicada na face oposta da máscara da amostra sendo uma tira posicionada 2mm acima e outra 2mm abaixo de seu orifício de acordo com o esquema da Figura 4.7

Figura 4.7 - Esquema de posicionamento do corte na máscara de leitura: A - Frente da máscara, voltada para a fonte de luz; D - Face posterior da máscara voltada para o detector. Observe as tiras de fita já aplicadas; B e E - Corte posicionado para leitura do esmalte; C e F - Corte posicionado para a leitura da dentina

O corte então era retirado da água, posicionado (ora esmalte, ora dentina), o excesso de água retirado com um lenço de papel, aplicado em uma das bordas do corte para não desidratar demasiadamente, e o conjunto inserido no porta amostras, o compartimento fechado e a leitura iniciada. O esquema da leitura está representado na figura 4.8.

Figura 4.8 - Esquema de leitura do ensaio de transmissão direta, para cálculo da transmitância

$$T = \frac{I}{I^0}$$

Ainda sobre o posicionamento da amostra de esmalte ou dentina de um corte, adotamos critérios diferentes para ambos os tecidos. No caso do esmalte a leitura foi feita sempre na região cuspídea, pois esta apresenta sempre um maior área útil. No caso da dentina, havia um fator a mais para ser considerado, que era o do posicionamento dos túbulos. Para tanto realizamos um teste para verificar se havia diferença na leitura caso mudássemos numa mesma face de um corte, o posicionamento da máscara. Utilizamos um corte OC e o posicionamos na máscara de

forma a realizar a leitura em 3 pontos alinhados no eixo MD. Um ponto próximo a região mesial, um ponto central e um ponto distal. As leituras dos três pontos nos deram o seguinte gráfico:

Figura 4.9 - Espectros de transmissão em 3 pontos diferentes para a mesma amostra de dentina

Com vista nos resultados, nos pareceu mais lógico escolher somente um ponto de leitura por amostra. Outro fato que nos levou a tomar esta decisão, foi que se tomássemos um ponto periférico, a sua reprodutibilidade nos outros cortes seria muito difícil, pois os cortes variam em dimensão devido a convergência natural dos dentes. Optamos então, em sempre utilizar a porção central da amostra de dentina, pois esta localização poderia ser mais facilmente reproduzida ao longo do dente.

4.3.2.5 cálculo da absorbância

Não há um método direto para se medir a luz absorvida. Esta informação é obtida de maneira indireta, pela mensuração da luz que não é absorvida pela amostra, ou seja, a luz transmitida. A lei de Beer–Lambert relaciona a intensidade de absorção com as intensidades incidentes e transmitidas, assim como a concentração do material que absorve esta luz, de tal maneira que: $\ln\left(\frac{I}{I^0}\right) = -\alpha \cdot x$, onde $\ln\left(\frac{I}{I^0}\right)$ é a absorbância α ou a é o coeficiente de absorção da substância em questão e x é a espessura da amostra.

Figura 4.10 - Luz incidente (I^0) / Espessura da amostra (x) / Luz transmitida (I)

Com base nesta expressão pudemos obter um dado de transmitância em %,

calcular a Absorbância desse valor aplicando-se esta fórmula. Isto equivale a dizer que, para cada gráfico de transmitância, um gráfico equivalente de absorbância pode ser obtido para os mesmos comprimentos de onda (CIENFUEGOS,1995).

4.3.2.6 ensaio de Transmissão Total

O ensaio de transmissão total foi realizado na faixa espectral de 380 a 760 nm. Este ensaio é, em termos de metodologia muito semelhante ao de transmissão direta com a diferença de que somente uma máscara foi utilizada. O acessório utilizado para este experimento foi a esfera de integração (Integrating Sphere 60mm DIA UV-VIS Region). A esfera de integração como o próprio nome já diz, tem a função de coletar tanto a energia transmitida de maneira direta quanto a energia difusa, que foi espalhada, dando a energia total transmitida ou em outras palavras o espectro de transmitância total do tecido. (Figura 4.11)

Figura 4.11 - Diagrama esquemático para (a) transmissão direta T_d e (b) transmissão total TT dos tecidos dentais usando espectrofotômetros. (BRODBELT et al., 1981)

Como colocado acima, somente uma máscara foi utilizada durante todo o experimento, sendo que, o dado do controle foi armazenado logicamente no aparelho, antes da leitura das amostras.

Para a leitura da TT (Transmitância Total) foram selecionados 6 dentes 4 OC, sendo dois de 1/2mm (d24 e d21) e dois de 1/4mm (d27 e d10) e mais 2 dentes VL, sendo um de 1/2mm D14 e um de 1/4mm D31. Quanto ao número de dentes utilizado no ensaio de TT , justifica-se este número pelo que foi observado no comportamento das curvas de transmissão na periodicidade da manutenção dos picos. Logo escolhemos um número menor de dentes. Quanto à ausência dos dentes do sentido MD, explica-se pelo fato de que este experimento era restrito ao comprimento de onda de 380 a 780 nm e que queríamos apenas verificar a diferença em média para dentina e esmalte de T_d e TT .

Neste estudo, agrupamos esses dentes em 4 grupos. Estes grupos foram formados pelo tipo de tecido e espessura, ou seja, se esmalte a 1/2mm ou 1/4mm ou dentina a 1/2mm ou 1/4mm. A divisão dos grupos ficou da seguinte maneira:

Tabela 4.2 Divisão dos grupos para transmissão total

grupo	tecido	Espessura
E1	esmalte	1/2mm
E2	esmalte	1/4mm
D1	dentina	1/2mm
D2	dentina	1/4mm

4.3.3 análises efetuadas

Neste estudo realizamos dois tipos de análises, quantitativa e qualitativa.

4.3.3.1 análises quantitativas

Nestas análises comparamos a variação dos tecidos, espessuras e sentidos nas faixas espectrais estudadas. Este método foi empregado tanto para a transmissão direta nos espectros UV (200-380nm) Visível (380-760nm) e infravermelho (760-3200nm), como para o de transmissão total no espectro visível (380-760nm).

O espectro infravermelho foi analisado também por picos de transmissão e absorbância para cada tecido.

4.3.3.2 análise dos picos de transmissão e absorbância no espectro infravermelho para esmalte e dentina

Nesta análise, estudamos a curva do infravermelho para esmalte e dentina. Para tanto identificamos os picos das curvas para ambos os tecidos em transmitância e absorbância. Foram localizados 3 pontos para transmissão e 3 pontos para absorbância para cada tecido. Esta identificação foi realizada via Software (Origin – Microcal Software Inc).

Quando ocorriam variações na localização dos picos escolhíamos o valor mais freqüente dos espectros. Isso ocorreu no pico situado no infravermelho próximo no caso da dentina que apresentava uma pequena variação.

Os picos para esmalte e dentina foram os seguintes:

Tabela 4.3 Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para esmalte

	Pico 1	Pico 2	Pico 3
Transmitância	2190nm	1800nm	1330nm
Absorbância	2810nm	1935nm	1425nm

Tabela 4.4 - Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para dentina

	Pico 1	Pico 2	Pico 3
Transmitância	2210nm	1640nm	1100nm
Absorbância	2500nm	1930nm	1420nm

Figura 4.12 - Representação gráfica dos picos 1 (2210nm), 2 (1640nm) e 3 (1100nm) da região IV para transmitância em dentina

Figura 4.13 - Representação gráfica dos picos 1 (2500nm), 2 (1930nm) e 3 (1420nm) da região IV para absorbância em dentina

Figura 4.14 - Representação gráfica dos picos 1 (2190nm), 2 (1800nm) e 3 (1330nm) da região IV para transmitância em esmalte

Figura 4.15 - Representação gráfica dos picos 1 (2810nm), 2 (1935nm) e 3 (1425nm) da região IV para absorbância em esmalte

4.3.3.3 tratamento dos dados

Para o ensaio de transmissão direta, os dados foram obtidos a partir dos valores máximos de transmissão de cada dente no que diz respeito a dentina e esmalte, e agrupados. Os dados foram coletados da seguinte maneira: Cada dente apresentava um determinado número de fatias. Cada fatia continha esmalte e dentina. Após a leitura das amostras um valor máximo para esmalte e um valor máximo para dentina, de cada dente foi anotado. Estes valores foram então representativos do dente em questão. Como os dentes estavam agrupados por sentido, para cada sentido havia 5 valores para esmalte e 5 para dentina. Médias então foram feitas para cada grupo e tratadas no teste de análise de variância a 5% para cada grupo dentro de seu espectro. As diferenças entre as médias dos grupos foram identificadas pelo intervalo de confiança de 95%. O mesmo foi feito para absorbância. Sendo que a análise quantitativa para essa propriedade óptica foi feita apenas para os picos do infravermelho.

Na transmissão total os dados foram comparados graficamente por média e pela razão entre transmissão total e transmissão direta.

4.3.3.4 análises qualitativas

Nestas análises estudamos as curvas espectrais de transmitância e absorbância e seus comportamentos

5 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho experimental são divididos em duas partes. A primeira parte diz respeito aos resultados quantitativos e a segunda aos resultados qualitativos. Os resultados qualitativos dizem respeito a apresentação das curvas espectrais de esmalte e dentina em transmitância e absorbância.

5.1 Análises quantitativas:

Transmitância direta e absorbância.

Comparações entre as faixas espectrais do UV, VIS e IV

Os gráficos abaixo mostram a comparação dos grupos de esmalte e dentina para as faixas espectrais do UV, VIS e IV no intervalo de confiança de 95%. Os dados com os parâmetros estatísticos utilizados e as análises de variância entre os grupos para cada pico estão nos apêndices 1 e 2 respectivamente.

As médias são diferentes estatisticamente quando os índices entre elas são diferentes.

Quando a médias apresentam índices iguais, elas não são diferentes.

5.1.1 análise dos dados dos espectros UV dos grupos de esmalte e dentina

Figura 5.1 Comparações entre os grupos de esmalte (UV) no intervalo de confiança de 95%

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte no espectro UV. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.1.

Tabela 5.1 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro UV

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,191 a	0,277 b	0,191 a	0,568 c	0,204 a	0,500 c

Figura 5.2 Comparações entre os grupos de dentina (UV) no intervalo de confiança de 95%

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de dentina no espectro UV. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.2.

Tabela 5.2 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro UV

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,048 a	0,139 bce	0,053 a	0,169 c	0,247 d	0,118 e

5.1.2 análise dos espectros VIS dos grupos de esmalte e dentina

Figura 5.3 Comparações entre os grupos de esmalte (VIS) no intervalo de confiança de 95%

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte no espectro VIS. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.3.

Tabela 5.3 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro VIS

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,088 a	0,066 b	0,098 a	0,125 c	0,093 ab	0,124 c

Figura 5.4 Comparações entre os grupos de dentina (VIS) no intervalo de confiança de 95%¹

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de dentina no espectro VIS. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.4,

Tabela 5.4 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro VIS

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,0505 a		0,0543 a	0,085 bc	0,0113 b	0,07 c

¹ Comparamos os grupos acima excluindo o grupo G2, pois este apresentou uma variação muito grande.

5.1.3 análise dos espectros do espectro Infravermelho dos grupos de esmalte e dentina

Figura 5.5 Comparações entre os grupos de esmalte (IV) no intervalo de confiança de 95%

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte no espectro IV. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.5.

Tabela 5.5 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o espectro IV

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,3747 a	0,301 b	0,3971 c	0,4606 d	0,456 d	0,467 d

Figura 5.6 Comparações entre os grupos de dentina (IV) no intervalo de confiança de 95%

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de dentina no espectro VIS. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.6.

Tabela 5.6 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o espectro IV

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,0715 a	0,066 a	0,085 b	0,156 c	0,217 c	0,145 c

5.1.4 análise dos picos de transmissão e absorbância no espectro infravermelho para esmalte e dentina

Tabela 5.7 Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para esmalte

	Pico 1	Pico 2	Pico 3
Transmitância	2190nm	1800nm	1330nm
Absorbância	2810nm	1935nm	1425nm

Tabela 5.8 Picos de Absorbância e Transmitância na região do infravermelho para dentina

	Pico 1	Pico 2	Pico 3
Transmitância	2210nm	1640nm	1100nm
Absorbância	2500nm	1930nm	1420nm

5.2 Análise dos picos de transmitância e absorbância para esmalte

5.2.1 análise dos picos de transmitância

Os gráficos abaixo mostram a comparação dos grupos de esmalte para os 3 picos de transmitância no intervalo de confiança de 95%. Os dados com os parâmetros estatísticos utilizados e as análises de variância entre os grupos para cada pico estão nos apêndices 1 e 2 respectivamente

Figura 5.7 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte: Pico 1

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 1 (2190nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.9.

Tabela 5.9 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 1 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,5610 a	0,4705 b	0,5790 a	0,6891 c	0,7065 c	0,6934 c

Figura 5.8 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte: Pico 2

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 2 (1800nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.10.

Tabela 5.10 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 2 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,6255 a	0,5251 b	0,6640 ac	0,7103 cd	0,705 cd	0,07225 d

Figura 5.9 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em esmalte: Pico 3

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 3 (1330nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.11.

Tabela 5.11 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 3 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,5991 a	0,4698 b	0,6328 ac	0,6369 ac	0,5904 abc	0,6567 c

5.2.2 comparações entre os picos de transmitância para esmalte

Os gráficos abaixo comparam os picos de transmissão para ambas as espessuras entre os grupos de dentina.

Figura 5.10 Comparação entre os picos de transmissão 1 e 2 para esmalte

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para o pico 1 e 2, o pico 2 de transmissão é maior ao 1 para a maioria das amostras testadas.

Figura 5.11 Comparação entre os picos de transmissão 1 e 3 para esmalte

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para os picos 1 e 3, estes apresentam valores semelhantes.

Figura 5.12 Comparação entre os picos de transmissão 2 e 3 para esmalte

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para o pico 2 e 3, o pico 2 de transmissão é maior que o 3 para a maioria das amostras testadas.

5.2.3 análise dos picos de absorbância

Os gráficos abaixo mostram a comparação dos grupos de esmalte para os 3 picos de absorbância no intervalo de confiança de 95%. Os dados com os parâmetros estatísticos utilizados e as análises de variância entre os grupos para cada pico estão nos apêndices 1 e 2 respectivamente

Figura 5.13 Intervalos de confiança de 95% para absorbância em esmalte: Pico 1*

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 1 (2810nm) de absorbância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.12.

Tabela 5.12 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 1 de absorbância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
8,5070 a	6,7907 b	7,7110 ab	8,2474 ab	7,8657 ab	8,3276 ab

Figura 5.14 Intervalos de confiança de 95% para absorvância em esmalte: Pico 2

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 2 (1935nm) de absorvância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.13.

Tabela 5.13 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 2 de absorvância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
1,0664 a	1,1734 a	1,1370 a	0,7064 b	0,6256 b	0,6462 b

Figura 5.15 Intervalos de confiança de 95% para absorvância em esmalte: Pico 3

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 3 (1425nm) de absorvância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.14.

Tabela 5.14 Resultados das comparações entre os grupos de esmalte para o pico 3 de absorvância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,8560 ab	0,9725 ab	0,9457 a	0,6804 bc	0,6696 bc	0,6175 c

5.3 Análise dos picos de transmissão e absorbância para a dentina

5.3.1 análise dos picos de transmissão

Os gráficos abaixo mostram a comparação dos grupos de dentina para os 3 picos de transmitância no intervalo de confiança de 95%. Os dados com os parâmetros estatísticos utilizados e as análises de variância entre os grupos para cada pico estão nos apêndices 1 e 2 respectivamente

Figura 5.16 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 1

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 1 (2210nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.15.

Tabela 5.15 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico1 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,0046 a	0,0056 a	0,0068 ab	0,0177 b	0,0226 b	0,0135 b

Figura 5.17 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 2

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 2 (1640nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.16.

Tabela 5.16 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 2 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,0086 a	0,0083 a	0,0103 ab	0,0168 b	0,0251 ab	0,0136 b

Figura 5.18 Intervalos de confiança de 95% para transmissão em dentina: Pico 3

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 3 (1100nm) de transmitância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.17.

Tabela 5.17 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 3 de transmitância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
0,0115 a	0,0101 a	0,0125 ab	0,0167 b	0,0237 ab	0,0141 b

5.3.2 comparações entre os picos de transmitância para dentina

Os gráficos abaixo comparam os picos de transmissão para ambas as espessuras entre os grupos de dentina.

Figura 5.19 Comparação entre os picos 1 e 2 de transmissão para dentina

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para os picos 1 e 2, o pico 2 de transmissão é maior que o 1 para a maioria das amostras testadas.

Figura 5.20 Comparação entre os picos 1 e 3 de transmissão para dentina

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para os picos 1 e 3, o pico 3 de transmissão é maior que o 1 para a maioria das amostras testadas.

Figura 5.21 Comparação entre os picos 2 e 3 de transmissão para dentina

Os resultados do gráfico acima sugerem que na comparação entre os valores de transmissão para ambas as espessuras de esmalte, para os picos 2 e 3, estes apresentam valores semelhantes.

5.3.3 análise dos picos de absorbância

Os gráficos abaixo mostram a comparação dos grupos de dentina para os 3 picos de absorbância no intervalo de confiança de 95%. Os dados com os parâmetros estatísticos utilizados e as análises de variância entre os grupos para cada pico estão nos apêndices 1 e 2 respectivamente

Figura 5.22 Intervalos de confiança de 95% para absorbância em dentina: Pico 1

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 1 (2500) de absorbância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.18.

Tabela 5.18 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 1 de absorbância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
7,60 a	6,88 b	7,52 a	6,54 bc	5,15 d	6,19 c

Figura 5.23 Intervalos de confiança de 95% para absorbância em dentina: Pico 2

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 2 (1930) de absorbância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.19.

Tabela 5.19 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 2 de absorbância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
6,96 a	6,35 b	6,83 a	6,17 bc	4,99 d	5,92 c

Figura 5.24 Intervalos de confiança de 95% para absorvância em dentina: Pico 3

O gráfico acima ilustra os limites do intervalo de confiança de 95%, para os grupos de esmalte para o pico 3 (1420) de absorvância. As comparações entre os grupos estão na tabela 5.20.

Tabela 5.20 Resultados das comparações entre os grupos de dentina para o pico 3 de absorvância

Grupos de 0,5mm			Grupos de 0,25mm		
G1 - VL	G2 - OC	G3 - MD	G4 - VL	G5 - OC	G6 - MD
5,75 a	5,26 b	5,73 a	5,14 bc	4,48 d	4,96 c

Análise da transmitância total e direta para o espectro visível

Os gráficos abaixo mostram a comparação, entre dentina e esmalte em ambas as espessuras e também separadamente entre tecidos, da transmissão total e direta realizadas na faixa espectral do espectro visível entre 380 e 760nm.

Figura 5.25 - Comparação entre as transmitâncias total e direta para esmalte e dentina em ambas as espessuras

Os resultados do gráfico acima nos sugerem que, os valores de transmitância total para ambos os tecidos e espessuras testadas, são maiores que os valores de transmitância direta.

Figura 5.26 - Comparação entre as transmitâncias direta e total para dentina em ambas as espessuras

Os resultados do gráfico acima nos sugerem que para ambas as espessuras de dentina testadas, os valores de transmitância total são maiores que os valores de transmitância direta. Os valores de transmitância direta também são maiores para as amostras de 0,25mm (D2) em relação as amostras de 0,5mm (D1).

Figura 5.27 - Comparação entre as transmitâncias direta e total para esmalte em ambas as espessuras

Os resultados do gráfico acima nos sugerem que para ambas as espessuras de esmalte testadas, os valores de transmitância total são maiores que os valores de transmitância direta. Os valores de transmitância direta também são maiores para as amostras de 0,25mm (E2) em relação as amostras de 0,5mm (E1)..O gráfico também nos mostra que para o esmalte há uma tendência de aproximação dos valores de transmitância total e direta, para as amostras mais finas. Esta aproximação pode ser mais bem visualizada nas curvas espectrais de transmitância na figura 35 A-B.

Figura 5.28 - Gráfico comparando as médias das transmissões total e direta para esmalte dentina de ambas as espessuras

As comparações feitas no gráfico acima nos mostram que, em média ambas as transmitâncias, direta e total são maiores para o esmalte em relação a dentina e que com a diminuição da espessura estes valores aumentam para ambos os tecidos.

Figura 5.29 - Gráfico comparando as razões entre transmissão total e direta para esmalte e dentina

O gráfico acima nos mostra que, em média a razão entre a transmitância total e direta, é maior para a dentina em relação ao esmalte. Esse resultado mostra que para a dentina a transmitância total é de 6,99 x (para as amostras de 0,5mm) a 5,29x (para as amostras de 0,25mm) maior que a transmitância direta. O esmalte apresenta uma transmitância total de 1,86x (para as mostras de 0,5mm) a 1,15x (para s amostras de 0,25mm) maior que a transmitância direta. A mesma observação para dentina pode ser vista na figura 5,34 A-B e para o esmalte na figura 5,35 A-B.

Figura 5.30 A – F Gráficos das transmitâncias espectrais para dentina em ambas espessuras

As curvas espectrais, de transmitância direta para dentina, apresentadas na figura 5.30 A-F ,nos mostram que, os espectros apresentam-se ascendentes do ultravioleta até o infravermelho próximo, na região do pico 3. Na região do infravermelho pode-se perceber uma seqüência de 3 platôs até 2500nm. A partir de 2500nm as curvas apresentam um grande ruído no sinal de transmissão, não podendo assim ser analisada com mais precisão a partir deste ponto. Podemos observar também que com a diminuição da espessura há uma tendência de aumento da transmitância. Observa-se também que os maiores valores de transmitância estão localizados no infravermelho na região dos picos 3 e 2.

A

E

Figura 5.31 A – F Gráficos das transmitâncias espectrais para esmalte em ambas espessuras

As curvas espectrais, de transmitância direta para esmalte, apresentadas na figura 5.31 A- F, nos mostram que, os espectros apresentam-se ascendentes do ultravioleta até o infravermelho próximo, na região do pico 2. Na região do infravermelho pode-se perceber uma seqüência de 3 picos. A partir do pico 1 as curvas apresentam uma forte queda na transmitância até chegar em valores mínimos, na região de 2750nm. Podemos observar também que com a diminuição da espessura há uma tendência de aumento da transmitância. Observa-se também que os maiores valores de transmitância estão localizados no infravermelho na região dos picos 1 e 2.

A **B**

Figura 5.32 A – F Gráficos das absorvâncias espectrais para dentina em ambas espessuras

As curvas espectrais, de absorbância para dentina, apresentadas na figura 5.32 A – F, nos mostram que, os valores de absorbância diminuem rapidamente do ultravioleta até o infravermelho próximo, até região de 1400nm, voltando a subir a partir do pico 3 e, de maneira marcante a partir do pico 1, mostrando altos valores na região de 2700nm, no infravermelho médio.. A partir de 2500 nm, podemos observar, um grande ruído no sinal, como visto anteriormente nos espectros de transmitância.

B

C

E

Figura 5.33 A – F Gráficos das absorvâncias espectrais para esmalte em ambas espessuras

As curvas espectrais, de absorvância para esmalte, apresentadas na figura 5.33 A-F, nos mostram que, os valores de absorvância diminuem de maneira marcante do ultravioleta até o infravermelho próximo, até região de 1900nm, voltando a subir, de maneira discreta, a partir do pico 2, e de maneira mais evidente a partir dos 2600nm até a região do pico 1. Pode-se observar que o esmalte apresenta uma baixa interação com a luz, em grande parte do intervalo de comprimento de onda estudado. As porções do espectro onde esta interação é mais evidente são, a porção ultravioleta e o infravermelho médio. Nota-se também, como já colocado nas análises dos espectros anteriores, na região do pico 1 (2800nm), a presença de um ruído marcante no sinal.

Figura 5.34 A – B - Gráficos das transmitâncias espectrais total e direta para dentina em ambas espessuras

Figura 5.35 A – B

Gráficos das transmitâncias espectrais total e direta para esmalte em ambas espessuras

6 DISCUSSÃO

As interações da luz com a matéria são complexas. Os resultados destas interações envolvem todas as propriedades ópticas que agem de maneira concomitante e em tempo real, sendo que seu resultado é apresentado pelas sensações visuais, térmicas e sonoras obtidas do meio onde as interações ocorreram.

Neste trabalho estudamos, a propagação da luz através de 2 espessuras para esmalte e dentina humanos. As propriedades ópticas envolvidas diretamente foram a transmitância e a absorbância espectrais dos tecidos, mas sabe-se que outras propriedades como a refletância e o espalhamento agiram conjuntamente. A reflexão não foi medida neste estudo, mas de certa feita agiu na região interna dos tecidos, à medida que os comprimentos de onda propagavam-se pela espessura da amostra. O mesmo pode ser dito em relação ao espalhamento. Isto equivale a dizer que os resultados espectrais não dizem respeito somente às propriedades ópticas investigadas, mas também a interação das outras mesmo que indiretamente.

As análises dos resultados foram feitas a partir das curvas espectrais de transmissão. Os dados de absorbância foram obtidos, através da aplicação da lei de Beer-Lambert, também conhecida como lei exponencial da absorção. Este cálculo é feito aplicando-se o logaritmo natural aos valores de transmitância. Quando isso ocorre uma curva invertida é obtida.

De maneira geral, podemos dizer pela observação dos espectros, que uma identidade espectral foi obtida para esmalte e para dentina, independente da

espessura. Um padrão de comportamento foi observado, padrão este que dá base para afirmar: “Esta é uma curva de dentina, e esta é uma curva de esmalte”. Alterações no sinal ocorreram, mas esta identidade aparece em todos os espectros seja para esmalte ou dentina.

A partir destas observações, esforços foram feitos para comparar de maneira qualitativa e quantitativa as faixas espectrais abrangidas neste estudo.

Nesta investigação realizamos 2 experimentos:

- 1) Transmissão direta no intervalo de comprimento de onda de 200 a 3200 nm, abrangendo, os espectros UV (Ultravioleta), VIS (Visível) e IV (Infravermelho). Para cada espectro de transmitância, um espectro correspondente de absorbância foi obtido pela lei de Beer-Lambert.
- 2) Comparação entre a transmitância direta e total para esmalte e dentina em ambas espessuras. Neste experimento apenas o espectro visível foi estudado.

Este capítulo se baseará na comparação e discussão de nossos resultados, e de nossas observações obtidas neste trabalho, com informações presentes na literatura.

Quando observamos pela primeira vez, uma curva espectral de esmalte de dentina, ficou bastante claro, que ambas eram bem diferentes. Apesar de ambos os tecidos serem semelhantes em composição (FRIED et al.,1995;FEATHERSTONE,2000), seus arranjos estruturais diferem muito (ZIJP;ten

BOSCH,1993;ZIJP;ten BOSCH;GROENHIUS,1995;ten CATE,2001). Além das diferenças entre tecidos, diferenças intra-tecidos também ocorrem (FRIED et al.,1995;VAARKAMP;ten Bosch,Verdonschot,1995; WHITE et al.,1995).Tais arranjos determinam a maneira pela qual a luz se propagará (WALTON;OUTHWAITE;PAHLEY,1976;BRODBELT et al.,1981; ZIJP;ten BOSCH;1993;FRIED et al.,1995;FEATHERSTONE,2000).

Parece claro que a somatória de todos estes aspectos e sua interação com a luz transmitida, resultou nas curvas espectrais observadas.Dizemos aqui, luz transmitida, porque como dito anteriormente, a absorbância foi calculada em função desta.

O Esmalte e a dentina são então tecidos heterogêneos. Por isso tem sido relatado que as propriedades ópticas variam de acordo com a porção do tecido que está sendo estudada.

O'Brien (1988), demonstrou que os prismas de esmalte são os principais difratores de luz do esmalte, e Vaarkamp,ten Bosch e Verdonschot (1995),Zijp;ten Bosch e Groenhius (1995) e Odor et al.(1996) demonstraram que resultados diferentes em transmissão eram conseguidos, quando a fonte de luz era posicionada nas direções perpendicular e inclinada em relação a superfície do esmalte. Quando a fonte de luz era posicionada perpendicular a superfície do esmalte, a luz era transportada pelos prismas e uma maior transmissão era registrada. Quando ela era posicionada inclinada em relação a superfície do esmalte, ou perpendicular a orientação dos prismas, uma menor transmissão era apontada. Os autores apontaram que estas diferenças nos comportamentos, como sendo uma manifestação da anisotropia do esmalte. Em outras palavras para cada ângulo de incidência o fluxo emergente apresentava valores diferentes.

No nosso trabalho, a fim de investigar tal comportamento, variamos os sentidos de corte dos espécimes. Dentro dos sentidos estudados os grupos Vestíbulo-Lingual e Mesio Distal, apresentaram, geralmente, maiores valores de transmissão para o esmalte, em todos os espectros e espessuras estudadas. Como explicamos na seção de materiais e métodos, os valores de transmissão para cada grupo, foram tirados do maior valor de transmissão de cada tecido, obtidos de uma determinada fatia de um determinado dente. Este valor, então, representava o dente e o tecido deste dente. Assim, os maiores valores eram, geralmente, das fatias oriundas das porções vestibular e mesial, destes dentes. O grupo OC (Ocluso cervical) foi o que apresentou valores menores, quando comparados aos outros sentidos, pois a incidência da luz se deu perpendicularmente à superfície dos prismas. Este resultado também é sugerido quando observamos as curvas espectrais presentes na figura 5.31 A-F.

Ainda com relação a estrutura prismática, Vaarkamp, ten Bosch e Verdonschot (1995) e Zijp e ten Bosch (1995), observaram, dentro dos limites do espectro visível, que a radiação emergente de amostras de esmalte, apresentava uma coloração amarelada. Tal fenômeno foi atribuído ao tipo de espalhamento que a luz, nesta faixa espectral, sofria no esmalte (BRODBELT et al.,1981). Segundo os autores as curvas espectrais resultantes do esmalte apresentariam valores de transmissão na região do amarelo e do vermelho, muito maiores do que os valores de transmissão do violeta, azul e verde.

Observamos tal comportamento nas nossas curvas de transmitância para o espectro visível (380-760nm), quando do ensaio de transmitância direta e total. Pela observação dos gráficos espectrais pode-se perceber, que os valores de transmissão cresceram rapidamente do violeta para o vermelho. Segundo Brodbelt et al.(1981) o

espalhamento é o responsável por este comportamento. Este tipo de espalhamento é dependente do comprimento de onda, e de acordo com o tipo de partícula envolvida, sendo que esta partícula deve ser menor do que o comprimento de onda incidente. No caso, o esmalte apresenta cristais de hidroxiapatita hexagonais da ordem de 25nm x 40nm x 160nm (ZIJP;ten BOSCH;GROENHIUS,1995), organizados em prismas que podem apresentar de 4 a 6µm. Parece então ficar claro, que os cristais espalham a luz que percorre os prismas. Este espalhamento é maior para os comprimentos de onda menores, e diminui à medida que os comprimentos de onda aumentam. Isto equivale a dizer, que quanto maior é o espalhamento menor a transmissão. O resultado visual da luz amarelada representa uma maior transmissão das porções amarela, laranja e vermelha em relação às porções violeta, verde e azul (Fig 5.35 A e B).

Walton,Outhwaite e Pahley (1976), realizaram os primeiros trabalhos afirmando que , na dentina os túbulos eram os agentes condutores de luz. Estas afirmações foram corroboradas posteriormente por White et al.(1994), Fried et al.(1995) Seka et al.(1995) e Odor et al.(1996).

Nossos resultados vão ao encontro dessas afirmações. De maneira geral, considerando os espectros analisados, os grupos OC (Ocluso cervicais) obtiveram maiores resultados de transmissão em relação aos grupos VL (Vestíbulo-Lingual) e MD (Mésio-distal). Neste grupo a incidência da luz foi, de maneira geral, em direção paralela aos túbulos dentinários. Em outras palavras, o posicionamento mais favorável dos túbulos em relação a incidência de luz foi obtida, preferencialmente, pelo grupo OC em relação aos demais.(Figs 5.2,5.4,5.6).

Os autores ainda afirmam que os túbulos agiriam como fibras ópticas na propagação da luz. Na nossa opinião, duas considerações, precisam ser feitas. Em primeiro lugar, trabalhamos com dentes seccionados, cujo interior dos túbulos era ora preenchido com água, quando as amostras estavam hidratadas, ora com ar, quando as amostras estavam desidratadas. Num dente vital, os túbulos não estão vazios. Possuem no seu interior o processo odontoblástico embebido em líquido tecidual, revestido por uma bainha orgânica (ten CATE,2001). Em segundo lugar, as paredes do túbulo dentinário deveriam apresentar uma organização tal, que refletisse quase que completamente, todos os raios de luz, através de sua extensão. A dentina intratubular apresenta, de fato uma organização e mineralização maiores, em relação aos outros tipos de dentina presentes na matriz dentinária, o que facilitaria a propagação da luz. Assim nossos resultados sugerem e apontam como os demais resultados presentes na literatura, que a propagação ocorre de maneira preferencial através dos túbulos dentinários, mas estudos mais próximos de uma condição de dente vital necessitam ser feitos, não para provar que a luz se propaga pelos túbulos, mas para explicar a interação dos componentes do túbulo com a luz.

Jenkins e White (1981) afirmam que, uma onda será atenuada em maior ou menor grau quando penetra num meio diferente do vácuo. Os espectros obtidos pela passagem da luz pelas espessuras de esmalte e dentina são o resultado direto dessa afirmação (figs.5.30 a 5.33) A atenuação descrita pelos autores se dá pela absorção do meio por onde passa a luz. Como foi dito anteriormente, esmalte e dentina são materiais heterogêneos. Para o esmalte esta característica é mais discreta, mas para a dentina ela é mais acentuada. Zijp e ten Bosch (1993) realizaram um estudo, para

explicar a propagação e o espalhamento da luz pela dentina, isolando os componentes integrantes da matriz dentinária. Este trabalho nos mostra, que cada um dos componentes isolados apresentava índices de refração diferentes, e contribuíam em maior ou menor grau para o espalhamento da luz pelo tecido dentinário. Além disso, o fator espessura exerce um papel importante no grau de atenuação dos comprimentos de onda que são transmitidos por um material (BROADBELT;O'BRIEN;FAN,1981;JENKINS;WHITE,1981).

Estes autores comentam que a relação entre absorção de luz, representada pela propriedade óptica da absorbância, e a espessura é direta, ou seja, em uma espessura menor, obtemos menor absorção. Para transmissão, representada pela propriedade óptica da transmitância, esta relação é inversa, ou seja, quanto menor a espessura maior é a transmissão. Vogel e Salz (1997) a fim de estudar a capacidade de comprimentos de onda, de 450 a 490nm, de transmitirem energia através de esmalte e dentina, afim de fotoativarem resinas compostas, calcularam a transmitância de finas fatias de esmalte e dentina. Demonstraram que com o aumento da espessura havia um decréscimo na transmissão, mas que este não era linear. Logo os autores concluíram que era necessário uma grande quantidade de energia, nestas condições para fotoativar uma resina composta. Da mesma maneira, Price, Murphy e Dérand (2000) obtiveram o mesmo resultado, só que comparando a transmitância de discos de resina com discos de dentina. Observando-se as figuras 5.34 e 5.35, podemos ver que, para esmalte e dentina os valores de transmissão nesta faixa são bem baixos, parte devido a absorção, parte devido ao espalhamento.

Nossos resultados mostram que, para todos os espectros, tecidos e sentidos estudados, a transmissão foi maior para os grupos de 0,25mm. (Figuras 5.1 a 5.6).

Quando comparamos os mesmos sentidos em espessuras diferentes, os sentidos de 0,25mm obtiveram maiores valores de transmissão do que os sentidos de 0,5mm. Algumas vezes, entretanto, quando interpolamos sentido e espessura, observamos que, nem sempre um determinado sentido com uma espessura mais fina, propagará mais energia que um outro sentido com espessura maior. (figuras 5.1 a 5.4). Este fato foi mais notado nas comparações de transmissão das faixas espectrais, do ultravioleta e do visível. Acreditamos que devido a anisotropia do esmalte e da dentina, o fator sentido passa a ser mais importante do que o fator espessura para as faixas espectrais acima citadas.

Já, no espectro infravermelho, ocorreu um comportamento mais distinto entre as espessuras, de forma que nenhum grupo de 0,5mm obteve maior transmissão do que os grupos de 0,25mm (Figuras 5.5 e 5.6). Quando comparamos as médias de transmissão entre os espectros, os maiores valores de transmissão são atribuídos para o infravermelho. Isso equivale a dizer que dentina e esmalte possuem uma absorção relativa, dependente do comprimento de onda incidente (JENKINS;WHITE,1981).

White et al.(1995), estudaram a transmitância direta e a absorbância de discos com espessuras diferentes de dentina. Os resultados deste trabalho apontaram que, os valores de transmissão direta eram inferiores a 1%, e que a absorbância era maior em espessuras maiores de dentina. Nosso trabalho confirma tais resultados. Observando-se os gráficos de transmitância para dentina, podemos notar que, embora obtivemos valores um pouco maiores que 1% (entre 1 e 2%), eles foram atribuídos as espessuras de 0,25mm, mais finas do que as usadas pelos autores. Segundo os autores este parâmetro é importante para o uso seguro dos lasers de tecido duro na dentina, pois, a

radiação deve estar contida no sítio de ação e não ser transmitida para os tecidos subjacentes.

Seka et al.(1995), irradiaram dentes com lasers no comprimento de onda pertencentes ao infravermelho próximo (ao redor de 1000nm) e notaram que uma alta deposição de energia ocorria no limite amelo dentinário. Esta energia foi transformada em calor e grande diferença da temperatura do limite amelo dentinário em relação a superfície externa do esmalte foi detectada.

Se observarmos os gráficos de transmitância e absorbância para esmalte, notaremos que a interação (absorção) deste tecido com esta faixa espectral é baixa, o que permite, que a radiação, passe rapidamente para o tecido subjacente, quase sem nenhuma interação. No caso da dentina uma maior absorbância é observada, de maneira relativa, o que faz com que a radiação seja absorvida em forma de calor. Além de apresentar maior absorbância, a dentina também apresenta maior espalhamento que o esmalte, fazendo com que a energia absorvida seja difundida para o interior do tecido, sendo que durante este percurso sua temperatura varia muito pouco. Esta interação pode vir a causar danos a estrutura pulpar.

Uma idéia da diferença da manifestação do espalhamento em dentina e esmalte pode ser observada nas figuras 5.34 e 5.35

Segundo Brodbelt,O'Brein e Fan (1981) o espalhamento manifesta-se na forma de energia difusa representada pela área entre as duas curvas espectrais de transmissão total e direta. Podemos observar que ambas as transmitâncias total e direta foram maiores para o esmalte em comparação com a dentina (Figuras 5.25 e 5.27). Notamos também que a energia difusa ou espalhada é maior para a dentina em relação ao esmalte. Tais dados confirmam a posição de Seka et al. (1995).

Fried et al.(1995) também apontaram que a diferença de comportamento entre esmalte e dentina no que diz respeito as suas propriedades ópticas no espectro do infravermelho próximo e também do visível, poderia levar a diferentes respostas teciduais, quando ambos os tecidos fossem irradiados por comprimentos de ondas presentes nestes espectros.

Os autores incluíram o espectro visível em suas afirmações, pois as propriedades ópticas dos tecidos entre o visível e o infravermelho próximo (ao redor de 1000nm) são muito semelhantes, para ambos os tecidos.

Tanto as curvas espectrais de absorbância como as de transmitância obtidas em nosso experimento, mostram que tal afirmação é verdadeira.

Identificamos neste trabalho os picos de absorbância e transmitância no espectro infravermelho para esmalte e dentina. (Figuras. 4.11, 4.12 ,4.13, 4.14). Roth et al.(1993) também identificaram picos de absorbância para esmalte e dentina, sendo que para o esmalte o pico maior foi o de 2800nm, e para dentina dois picos foram identificados, sendo um pico de 2000nm e outro de 2500. Encontramos no esmalte o picos, de 2810nm como o maior pico seguido de mais dois picos de 1935nm e 1425nm. Na dentina encontramos o pico de 2500nm, seguido de mais 2 picos de 1935nm e 1420nm. Acreditamos que a diferença entre o pico registrado pelos autores de 2000nm e o pico que encontramos de 1935nm para dentina, pode ter sido causada pelas diferenças entre as amostras de dentina. Não foi possível analisar a curva de dentina para valores acima de 2500nm, e para o esmalte acima de 2810 nm, pois um ruído muito evidente no sinal impedia tal análise. Roth et al. 1993 atribuíram este ruído à interferência da água, a qual possui forte absorção nesta faixa espectral. Como utilizamos amostras hidratadas, concordamos com as afirmações dos autores.

Com relação aos picos de transmitância para esmalte e dentina, os picos contidos no infravermelho próximo ilustram, quando comparamos o pico do esmalte com o pico da dentina, a diferença da interação da luz, nesta faixa espectral, com ambos os tecidos, de acordo com o que foi observado por Fried et al.(1995) e Seka et al.(1995).

Não encontramos na literatura, dentro das bases consultadas e até o presente momento, referências a respeito dos outros picos de absorbância e transmitância encontrados neste estudo.

Apesar de não encontrarmos referências aos picos propriamente ditos, seus comportamentos ao longo da curva espectral do infravermelho nos dão uma idéia do que ocorre nesta faixa espectral.

As comparações feitas entre os picos de transmissão do esmalte, sugerem que o pico máximo de transmissão no infravermelho foi o pico 2 de 1800nm, sendo que o picos 1 de 2190nm e o pico 3 de 1330nm são semelhantes (Figuras 5.10,5.11,5.12). O comportamento dos picos nos sentidos estudados são semelhantes a média do infravermelho. Podemos notar pelas figuras 5.7,5.8 e 5.9. Os maiores valores são atribuídos para os grupos de menor espessura e os sentidos VL e MD apresentam maiores resultados de transmissão. Quando observamos o comportamento dos picos de absorbância para o esmalte, o comportamento contrário é observado Figuras 5.13,5.14 e 5.15. No caso do pico 3 (2810nm) foi observado um comportamento discrepante, quando comparados aos outro dois picos. Atribuímos isso ao fato deste pico estar localizado em uma zona de grande absorção, que é coincidente com a água, o que dificultou a obtenção de dados consistentes (ROTH et al.,1993).

As comparações entre os picos de transmissão da dentina sugerem que os picos 3 (1100nm) e 2 (1640nm) são semelhantes e maiores que o pico 1 (2210nm). Estes picos foram identificados nos 3 platôs apresentados pela curva de transmissão da dentina para todos os espécimes. Os comportamentos dos grupos estudados em relação aos picos são extremamente semelhantes e seguem o mesmo padrão dos grupos de infravermelho para dentina (Figuras 5.16,5.17,5.18). O mesmo pode ser dito com respeito a absorbância (Figuras 5.22,5.23,5.24).

A identificação destes picos foi feita observando a periodicidade das curvas de transmitância e absorbância para esmalte e dentina hígidos. Acreditamos que a identificação destes picos é importante para comparações espectrais entre tecidos hígidos e alterados por cárie.

Featherstone (2000) e Coluzzi (2004) afirmaram que o conhecimento do espectro e suas interações com os tecidos dentais são fundamentais para a escolha do laser mais indicado para ser utilizado nestes tecidos. As zonas de maior absorbância localizadas no espectro UV e infravermelho próximo são ideais para o uso de lasers de tecido duro como Alexandrita (370nm), Er:YSSG (2780nm) e Er:YAG (2940nm). Observando as curvas de absorbância para ambos os tecidos podemos observar que, as porções limites do espectro, ou seja, infravermelho médio e ultravioleta são as que apresentam maiores valores de absorbância (Figuras.5.32 A-F e 5.33 A-F). Ambos os autores colocam que no espectro visível as aplicações lançariam mão da baixa interação dos tecidos com a luz. Dentre as aplicações citadas, a detecção de cáries por fluorescência e a polimerização de resinas compostas são, segundo os autores, as mais utilizadas. No caso da detecção de cáries por fluorescência a luz emitida necessita ser transmitida pelo esmalte, absorvida pela lesão e emitida de volta para o detector. As

figuras 5.31 A-F, 5.33 A-F e 5.35 A-B mostram o comportamento do esmalte nesta faixa espectral. Podemos notar que em todos os espectros uma baixa interação com a luz e uma alta transmissão. No caso da polimerização de resinas compostas, a luz seria transmitida e espalhada pelos tecidos para cobrir a superfície da resina, como demonstradas pelos espectros das figuras 5.34 e 5.35.

7 CONCLUSÕES

- 1) Ocorreram diferenças nas propriedades ópticas do esmalte e da dentina dentro das faixas espectrais estudadas, Uv (Ultravioleta), VIS (visível) e IV (Infravermelho);
- 2) Os resultados mostraram que as propriedades ópticas são dependentes da espessura;
- 3) As propriedades ópticas variam de acordo com o sentido de irradiação da amostra;
- 4) Nas comparações dos espectros de transmitância total e direta, no intervalo de 380 a 760nm, a dentina de maneira relativa apresenta maior difusão de luz (espalhamento) do que o esmalte;
- 5) A periodicidade dos espectros de transmitância e absorbância para esmalte e dentina, possibilitou a identificação dos picos das curvas, do espectro infravermelho para ambos os tecidos.

REFERÊNCIAS²

Brodbelt RHW, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. J Dent Res 1980;59(1)70-75.

Brodbelt RHW, O'Brien WJ, Fan PL, Frazer-Dib JG, Yu R. Translucency of human dental enamel. J Dent Res 1981;60(10)1749-53.

Cienfuegos F. Introdução à fotolorimetria e espectrofotometria. São Paulo: ALTEC manual;1995.

Coluzzi DJ. Fundamentals of dental lasers: science and instruments. Dent Clin N Am 2004;48(4)751-770.

Featherstone JDB. Caries detection and prevention with laser energy. Dent Clin N Am 2000;44(4)955-69.

Fried D, Glana RE, Featherstone JDB, Sew W. Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths. Appl Opt 1995;34(7)1278-85.

GBC.In: Introduction to UV-Visible spectroscopy. GBC UV-VIS Cintra 10/20/40 Spectrometer Operation Manual. Dandenong: GBC Scientific Equipment Pty Ltd 1996;1;1-3.

Ikawa M, Horiuck IH, Ikawa K. Optical characteristics of human extracted teeth and the possible application of photoplethysmography to the human pulp. Archs Oral Biol 1994;39(10)821-7.

Jenkins FA, White HE. Fundamentals of optics. 4th,ed. Auckland: McGraw-Hill; 1981.

² De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo a base de dados MEDLINE

O'brien WJ. Double layer effect and other optical phenomena related to esthetics. Dent Clin N Am 1985;29(4)667-72.

O'brien WJ. Fraunhofer diffraction of light by human enamel. J Dent Res 1988;67(2)484-6.

Odor TM, Watson TF, Pitt Ford TR, McDonald F. Pattern of transmission of laser light in teeth. Int Endod J 1996;29(4)228-34.

Pelino JEP. Análise morfológica e espectrofotométrica do esmalte e dentina irradiados com lasers de Nd:Yag e Er:Yag – Estudo *in vitro*. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Philips NV Gloeilampenfabrieken. Manual de iluminação. Eindhoven: 1981.

Preston JD, Berger SF. Color science and dental art: a self teaching program. St. Louis: Mosby; 1980.

Price RBT, Murphy DG, Dérand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. Quintessence Int 2000;31;659–67.

Roth KKF, Duczynski EW, Heide HJVD, Struve B. Absorption of infrared radiation by human dental hard substances. SPIE 1993;2080;20-5.

Seka W, Fried D, Featherstone JDB, Borzillary SF. Light deposition in dental hard tissue and simulated thermal response. J Dent Res 1995;74(4)1086-92.

Spitzer D, Bosch JT. The absorption and scattering of light in bovine and human dental enamel. Calcif Tissue Res 1975;17(2):129-37.

ten Cate AR. Histologia Bucal: Desenvolvimento, Estrutura e Função. 5ª, ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2001.

Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonchot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine. Caries Res 1995;29(1)8-13.

van de Hulst HC. Light scattering by small particles. New York: Dover; 1981.

Vogel K, Salz U. Influence of trans-tooth curing on physical properties of composites (Ivoclar/Vivadent, Liechtenstein) [abstract 137]. J Dent Res, Chicago 1997;76;1111.

Walton RE, Outhwaite WC, Pashley DF. Magnification: an interesting optical property of dentin. J Dent Res 1976;55(4):639-42.

White JM, Marshall SJ, Marshall GW, Strawn SE, Goodis HE, Law JG. Spectrophotometric analysis of dentin as a function of intra-tooth location [abstract 903]. J Dent Res 1994;73;214.

White JM, Lopes DP, Strawn SE, Marshall SJ, Johnston WM. Spectrophotometric absorbance and direct transmittance of dentin [abstract 1469]. J Dent Res 1995;74;195.

Zijp RJ, ten Bosch J, Groenhuis RAJ. HeNe-Laser light scattering by human dental enamel. J Dent Res 1995;74(12):1891-8.

Zijp RJ, ten Bosch J. Theoretical model for the scattering of light by dentin and comparison with measurements. App Opt 1993;32(4):411-5.

APÊNDICE A - Tabelas com parâmetros estatísticos e intervalos de confiança

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte no espectro UV

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
EVL.50	5	0.9554	0.1911	0.0082	0.0181	0.1548	0.2273
EOC.50	5	1.3850	0.2770	0.0045	0.0134	0.2503	0.3037
EMD.50	5	0.9530	0.1906	0.0048	0.0138	0.1630	0.2182
EVL.25	5	2.8400	0.5680	0.0619	0.0497	0.4685	0.6675
EOC.25	5	1.0188	0.2038	0.0083	0.0182	0.1674	0.2401
EMD.25	5	2.5020	0.5004	0.0429	0.0414	0.4175	0.5833

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina no espectro UV

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
DVL.50	5	0.2381	0.0476	0.0003	0.0033	0.0411	0.0541
DOC.50	5	0.6940	0.1388	0.0041	0.0127	0.1133	0.1643
DMD.50	5	0.2664	0.0533	0.0002	0.0030	0.0474	0.0592
DVL.25	5	0.8430	0.1686	0.0028	0.0106	0.1475	0.1897
DOC.25	5	1.2325	0.2465	0.0035	0.0119	0.2227	0.2703
DMD.25	5	0.5892	0.1178	0.0015	0.0077	0.1024	0.1333

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte no espectro VIS

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
EVL.50	5	0.4412	0.0882	0.0004	0.0039	0.0805	0.0960
EOC.50	5	0.3294	0.0659	0.0006	0.0049	0.0561	0.0757
EMD.50	5	0.4922	0.0984	0.0004	0.0042	0.0901	0.1068
EVL.25	5	0.6239	0.1248	0.0011	0.0066	0.1115	0.1381
EOC.25	5	0.4630	0.0926	0.0016	0.0081	0.0764	0.1088
EMD.25	5	0.6194	0.1239	0.0008	0.0058	0.1123	0.1354

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina no espectro VIS

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
DVL.50	5	0.2523	0.0505	0.0000	0.0005	0.0494	0.0515
DOC.50	5	0.6792	0.1358	0.0347	0.0373	0.0613	0.2104
DMD.50	5	0.2715	0.0543	0.0001	0.0015	0.0512	0.0574
DVL.25	5	0.4237	0.0847	0.0006	0.0048	0.0751	0.0944
DOC.25	5	0.5655	0.1131	0.0050	0.0141	0.0849	0.1413
DMD.25	5	0.3501	0.0700	0.0001	0.0024	0.0653	0.0748

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte no espectro IV

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
EVL.50	5	1.8736	0.3747	0.0002	0.0026	0.3695	0.3799
EOC.50	5	1.5062	0.3012	0.0016	0.0081	0.2850	0.3174
EMD.50	5	1.9853	0.3971	0.0002	0.0028	0.3915	0.4027
EVL.25	5	2.3032	0.4606	0.0008	0.0055	0.4497	0.4716
EOC.25	5	2.2828	0.4566	0.0030	0.0110	0.4346	0.4785
EMD.25	5	2.3348	0.4670	0.0004	0.0038	0.4593	0.4746

Tabela 6 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina no espectro IV

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
DVL.50	5	0.3575	0.0715	0.0001	0.0020	0.0674	0.0756
DOC.50	5	0.3305	0.0661	0.0005	0.0043	0.0575	0.0747
DMD.50	5	0.4265	0.0853	0.0004	0.0039	0.0775	0.0931
DVL.25	5	0.7792	0.1558	0.0026	0.0101	0.1355	0.1761
DOC.25	5	1.0866	0.2173	0.0244	0.0312	0.1548	0.2798
DMD.25	5	0.7231	0.1446	0.0029	0.0108	0.1230	0.1663

Tabela 7 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 1 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	2.8051	0.5610	0.0002	0.0055	0.5499	0.5721
OC.50	5	2.3523	0.4705	0.0039	0.0278	0.4148	0.5261
MD.50	5	2.8952	0.5790	0.0001	0.0053	0.5683	0.5897
VL.25	5	3.4455	0.6891	0.0006	0.0111	0.6668	0.7114
OC.25	5	3.5317	0.7063	0.0023	0.0217	0.6630	0.7497
MD.25	5	3.4671	0.6934	0.0003	0.0082	0.6771	0.7097

Tabela 8 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 2 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	3.1275	0.6255	0.0013	0.0161	0.5933	0.6577
OC.50	5	2.6255	0.5251	0.0049	0.0313	0.4625	0.5877
MD.50	5	3.3200	0.6640	0.0003	0.0080	0.6480	0.6800
VL.25	5	3.5516	0.7103	0.0010	0.0142	0.6818	0.7388
OC.25	5	3.5249	0.7050	0.0037	0.0270	0.6509	0.7590
MD.25	5	3.6125	0.7225	0.0004	0.0084	0.7057	0.7393

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 3 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	2.9957	0.5991	0.0007	0.0122	0.5747	0.6236
OC.50	5	2.3492	0.4698	0.0051	0.0320	0.4059	0.5338
MD.50	5	3.1641	0.6328	0.0012	0.0156	0.6016	0.6640
VL.25	5	3.1844	0.6369	0.0023	0.0213	0.5942	0.6795
OC.25	5	2.9522	0.5904	0.0082	0.0405	0.5095	0.6714
MD.25	5	3.2834	0.6567	0.0013	0.0161	0.6244	0.6890

Tabela 10 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 1 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	42.5352	8.5070	0.5809	0.3408	7.8254	9.1887
OC.50	5	33.9534	6.7907	0.4020	0.2835	6.2236	7.3578
MD.50	5	38.5550	7.7110	0.5510	0.3320	7.0471	8.3749
VL.25	5	41.2368	8.2474	1.1082	0.4708	7.3058	9.1889
OC.25	5	39.3283	7.8657	0.2781	0.2358	7.3940	8.3373
MD.25	5	41.6382	8.3276	0.8628	0.4154	7.4969	9.1584

Tabela 11 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 2 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	5.3318	1.0664	0.0096	0.0439	0.9786	1.1541
OC.50	5	5.8669	1.1734	0.0463	0.0962	0.9809	1.3658
MD.50	5	5.6848	1.1370	0.0166	0.0576	1.0217	1.2522
VL.25	5	3.5322	0.7064	0.0067	0.0365	0.6334	0.7795
OC.25	5	3.1278	0.6256	0.0063	0.0356	0.5545	0.6967
MD.25	5	3.2311	0.6462	0.0049	0.0314	0.5835	0.7089

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de esmalte para IV pico 3 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	4.2798	0.8560	0.0217	0.0659	0.7241	0.9878
OC.50	5	4.8626	0.9725	0.0764	0.1236	0.7253	1.2198
MD.50	5	4.7283	0.9457	0.0273	0.0740	0.7977	1.0936
VL.25	5	3.4020	0.6804	0.0055	0.0332	0.6140	0.7468
OC.25	5	3.3482	0.6696	0.0098	0.0442	0.5813	0.7580
MD.25	5	3.0873	0.6175	0.0080	0.0400	0.5375	0.6975

Tabela 13 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 1 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	0.0231	0.0046	9.6E-07	0.0004	0.0037	0.0055
OC.50	5	0.0279	0.0056	2.7E-06	0.0007	0.0041	0.0070
MD.50	5	0.0342	0.0068	9.7E-06	0.0014	0.0040	0.0096
VL.25	5	0.0885	0.0177	4.7E-05	0.0031	0.0116	0.0238
OC.25	5	0.1129	0.0226	2.6E-04	0.0073	0.0081	0.0371
MD.25	5	0.0675	0.0135	2.3E-05	0.0021	0.0092	0.0178

Tabela 14 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 2 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	0.0430	0.0086	0.0000	0.0006	0.0073	0.0099
OC.50	5	0.0415	0.0083	0.0000	0.0008	0.0066	0.0100
MD.50	5	0.0517	0.0103	0.0000	0.0011	0.0081	0.0125
VL.25	5	0.0838	0.0168	0.0000	0.0024	0.0120	0.0215
OC.25	5	0.1257	0.0251	0.0003	0.0080	0.0091	0.0412
MD.25	5	0.0681	0.0136	0.0000	0.0013	0.0110	0.0162

Tabela 15 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 3 em transmitância

<i>Grupo</i>	<i>sample</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	0.0575	0.0115	0.0000	0.0004	0.0108	0.0122
OC.50	5	0.0504	0.0101	0.0000	0.0009	0.0082	0.0119
MD.50	5	0.0627	0.0125	0.0000	0.0008	0.0110	0.0140
VL.25	5	0.0833	0.0167	0.0000	0.0019	0.0129	0.0204
OC.25	5	0.1187	0.0237	0.0003	0.0076	0.0086	0.0389
MD.25	5	0.0706	0.0141	0.0000	0.0008	0.0125	0.0157

Tabela 16 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 1 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	38.33701	7.667402	0.021933	0.0662	7.5349	7.7999
OC.50	5	34.44981	6.889962	0.019477	0.0624	6.7651	7.0148
MD.50	5	37.6059	7.52118	0.030034	0.0775	7.3662	7.6762
VL.25	5	32.73957	6.547914	0.278566	0.2360	6.0758	7.0200
OC.25	5	25.78572	5.157144	0.339723	0.2607	4.6358	5.6785
MD.25	5	30.96681	6.193362	0.042142	0.0918	6.0097	6.3770

Tabela 17 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 2 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	34.84106	6.968212	0.001758	0.0188	6.9307	7.0057
OC.50	5	31.77305	6.35461	0.013397	0.0518	6.2511	6.4581
MD.50	5	34.19338	6.838676	0.014627	0.0541	6.7305	6.9468
VL.25	5	30.87918	6.175836	0.117075	0.1530	5.8698	6.4819
OC.25	5	24.9563	4.99126	0.183903	0.1918	4.6077	5.3748
MD.25	5	29.60869	5.921738	0.017992	0.0600	5.8018	6.0417

Tabela 18 – Parâmetros estatísticos e intervalo de confiança para os grupos de dentina para IV pico 3 em absorbância

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>LimInf</i>	<i>LimSup</i>
VL.50	5	28.77887	5.755774	0.023811	0.0690	5.6178	5.8938
OC.50	5	26.31989	5.263978	0.025496	0.0714	5.1212	5.4068
MD.50	5	28.69307	5.738614	0.015048	0.0549	5.6289	5.8483
VL.25	5	25.72598	5.145196	0.052885	0.1028	4.9395	5.3509
OC.25	5	22.41567	4.483134	0.084843	0.1303	4.2226	4.7437
MD.25	5	24.81849	4.963698	0.027118	0.0736	4.8164	5.1110

APÊNDICE B – Análises de variância para os espectros estudados

Tabela 19 - Análise de variância de fator único para o espectro UV entre os grupos do esmalte

ANOVA

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.7138	5	0.1428	6.5632	0.0006	2.6207
Dentro	0.5220	24	0.0218			
Total	1.2358	29				

Tabela 20 - Análise de variância de fator único para o espectro UV entre os grupos de dentina

ANOVA

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.1398	5	0.0280	13.5672	2.43E-06	2.6207
Dentro	0.0494	24	0.0021			
Total	0.1892	29				

Tabela 21 - Análise de variância de fator único para o espectro VIS entre os grupos do esmalte

ANOVA

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.0127	5	0.0025	3.0493	2.86%	2.6207
Dentro	0.0200	24	0.0008			
Total	0.0327	29				

Tabela 22 - Análise de variância de fator único para o espectro VIS entre os grupos de dentina

ANOVA

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.0287	5	0.0057	0.8499	52.83%	2.6207
Dentro	0.1619	24	0.0067			
Total	0.1906	29				

Tabela 23 - Análise de variância de fator único para o espectro IV entre os grupos do esmalte

ANOVA

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.1061	5	0.0212	20.7644	5.23E-08	2.6207
Dentro	0.0245	24	0.0010			
Total	0.1306	29				

Tabela 24 - Análise de variância de fator único para o espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.0888	5	0.0178	3.4526	1.72%	2.6207
Dentro	0.1234	24	0.0051			
Total	0.2122	29				

Tabela 25 - Análise de variância de fator único para o pico 1 de transmissão no espectro IV entre os grupos de esmalte

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
entre	0.225	5	0.045	36.183	2.04E-10	2.621
dentro	0.030	24	0.001			
Total	0.255	29				

Tabela 26 - Análise de variância de fator único para o pico 2 de transmissão no espectro IV entre os grupos de esmalte

<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
entre	0.139	5	0.028	14.489	1.38E-06	2.621
dentro	0.046	24	0.002			
Total	0.185	29				

Tabela 27 - Análise de variância de fator único para o pico 3 de transmissão no espectro IV entre os grupos de esmalte

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
entre	0.113	5	0.023	7.211	3.02E-04	2.621
dentro	0.075	24	0.003			
Total	0.189	29				

Tabela 28 - Análise de variância de fator único para o pico 1 de absorbância no espectro IV entre os grupos de esmalte

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
entre	9.696	5	1.939	3.076	2.77%	2.621
dentro	15.132	24	0.630			
Total	24.827	29				

Tabela 29 - Análise de variância de fator único para o pico 2 de absorbância no espectro IV entre os grupos de esmalte

ANOVA						
<i>Varição</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
entre	1.677	5	0.335	22.252	2.70E-08	2.621
dentro	0.362	24	0.015			
Total	2.039	29				

Tabela 30 - Análise de variância de fator único para o pico 3 de absorbância no espectro IV entre os grupos de esmalte

<i>Varição</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.591	5	0.118	4.766	0.36%	2.621
Dentro	0.595	24	0.025			
Total	1.186	29				

Tabela 31 - Análise de variância de fator único para o pico 1 de transmissão no espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Varição</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.001	5	0.000	4.660	0.41%	2.621
Dentro	0.001	24	0.000			
Total	0.003	29				

Tabela 32 - Análise de variância de fator único para o pico 2 de transmissão no espectro IV entre os grupos de dentina

<i>Varição</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.001	5	0.000	3.341	1.98%	2.621
Dentro	0.001	24	0.000			
Total	0.003	29				

Tabela 33 - Análise de variância de fator único para o pico 3 de transmissão no espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Varição</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	0.001	5	0.000	2.323	7.43%	2.621
Dentro	0.001	24	0.000			
Total	0.002	29				

Tabela 34 - Análise de variância de fator único para o pico 1 de absorbância no espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	21.491074	5	4.2982148	35.23729	2.68E-10	2.620652
Dentro	2.9274998	24	0.1219792			
Total	24.418574	29				

Tabela 35 - Análise de variância de fator único para o pico 2 de absorbância no espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	12.80302	5	2.560605	44.05316	2.55E-11	2.620652
Dentro	1.395008	24	0.058125			
Total	14.19803	29				

Tabela 36 - Análise de variância de fator único para o pico 3 de absorbância no espectro IV entre os grupos de dentina

ANOVA						
<i>Variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre	5.860261	5	1.172052	30.68182	1.12E-09	2.620652
Dentro	0.916805	24	0.0382			
Total	6.777066	29

PARECER DE APROVAÇÃO Protocolo 173/04

O Grupo de Trabalho indicado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, **APROVOU** o protocolo de pesquisa "*Contribuição para o estudo da propagação da luz através do esmalte e dentina humana*", de responsabilidade do Pesquisador **Washington Steagall Junior**, sob orientação do Prof. Dr. **Glauco Fioranelli Vieira**.

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados a este Comitê relatórios anuais referentes ao andamento da pesquisa e ao término cópia do trabalho em "cd". Qualquer emenda do projeto original deve ser apresentada a este CEP para apreciação, de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

São Paulo, 20 de outubro de 2004

Profª Drª **ROSA HELENA MIRANDA GRANDE**
Coordenadora do CEP-FOUSP