# **WASHINGTON STEAGALL JUNIOR**

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA, COR,

OPACIDADE E MARCA COMERCIAL DAS PORCELANAS FELDSPÁTICAS NA

PROPAGAÇÃO DA LUZ VISÍVEL, ATRAVÉS DA TEORIA DE KUBELKA MUNK E

SUAS IMPLICAÇÕES NA ODONTOLOGIA, PARA OS INTERVALOS DE

COMPRIMENTO DE ONDA DE 410-500NM E DE 410-700NM

São Paulo

2009

**Washington Steagall Junior** 

Contribuição para o estudo da influência da espessura, cor, opacidade e

marca comercial das porcelanas feldspáticas na propagação da luz visível,

através da Teoria de Kubelka Munk e suas implicações na odontologia, para

os intervalos de comprimento de onda de 410-500nm e de 410-700nm

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

Odontologia.

Área de Concentração: Dentística

Orientador: Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira

São Paulo

2009

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Steagall Jr. W. Contribuição para o estudo da influência da espessura, cor, opacidade e marca comercial das porcelanas feldspáticas na propagação da luz visível, através da Teoria de Kubelka Munk e suas implicações na odontologia, para os intervalos de comprimento de onda de 410-500nm e de 410-700nm [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2009.

São Paulo, 02/09/2009

# **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:
4)	Prof(a). Dr(a).	
	Titulação:	
	Julgamento:	_ Assinatura:
5)	Prof(a). Dr(a).	
	Titulação:	
	Julgamento:	_ Assinatura:

# **DEDICATÓRIA**

A Deus, por tudo!

À minha querida Mãe Agnes, por toda paciência, carinho, amor e companheirismo com que me apoiou e incentivou durante toda a minha vida e em especial durante a pós graduação.

Mãe obrigado pela oportunidade desta jornada!

À minha Tia Ilza Mortensen Steagall e a minha Tia – Mãe Daisy de Moraes, por todo acompanhamento, incentivo e apoio, em todos os momentos da minha vida,

Aos meus queridos irmãos Mônica, Nancy e Thomas, pela compreensão e pelo interesse pelo acompanhamento durante a pós graduação,

Ao meu Pai Washington Steagall, que há 36 anos, adiou sua defesa de tese até que eu chegasse ao mundo. Muito Obrigado pai, pelo exemplo de profissional dedicado e responsável, que tanto fez pela clínica odontológica, que me levou a profissão.

Ao meu querido Tio Lincoln Steagall, a mais alta expressão que tenho de professor, pesquisador e educador em odontologia. Tio, muito obrigado por todo exemplo de perseverança,

seriedade e honestidade de vida e profissão que me levou a entrar na pós graduação e iniciar uma carreira universitária.

Ao meu querido Tio Denizarth Steagall, pela oportunidade, sem a qual simplesmente eu não estaria nesta profissão e nem aqui defendendo hoje este trabalho.

A meus queridos Tios Maurício, Valéria, Seide, Denizard e Daisy, obrigado por todo o exemplo de amor e dedicação ao ensino e principalmente às pessoas. Tia Daisy, obrigado pelo suporte incondicional que me deu durante todos este anos de USP e Tia Seide, obrigado por todo o carinho, atenção e interesse que a senhora tem comigo, principalmente em relação a minha carreira.

Ao meu queridos avós paternos Vô Carlos e Vó Nenê e maternos Vô Paulo e Vó Vera, obrigado pelo exemplo de suporte moral, de retidão e de caráter, com que forjaram as suas famílias e inspiraram seus filhos e netos.

# **AGRADECIMENTOS ESPECIAIS**

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Glauco, por ter me orientado no mestrado e doutorado e por ter dado a oportunidade de ensinar e fazer parte da Disciplina de Escultura Dental, durante todos estes anos. Chefe, obrigado pela paciência e por ter acreditado em mim!

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto de Bragança, professor titular do IME-USP, por todo o carinho, paciência e apoio dispensados a mim durante toda a pós graduação.

Ao Prof. Dr. Carlos Martins Agra, por toda paciência e dedicação que teve ao me ajudar a entender as propriedades e a manufatura das porcelanas.

Ao Prof. Dr. Edmir Matson, pelos incentivos e pelas oportunidades que me deu ao orientar meu primeiro trabalho científico.

Ao Prof. Dr. Jaap ten Bosch, professor emérito de óptica aplicada da Universidade de Groningen (Holanda) pela paciência com que me ajudou a compreender as bases das propriedades ópticas.

Ao Prof. Dr. Jaap Zijp, professor pesquisador da Universidade de Groningen (Holanda), por me enviar sua Tese, e por me auxiliar a entender as propriedades ópticas dos tecidos dentais.

Ao Prof. Dr. William Michael Johnston, professor associado da Universidade de Ohio (EUA), por todo o auxílio e paciência que me dispensou na compreensão da Teoria de Kubelka–Munk, suas particularidades e métodos de correção.

Ao Prof. Dr. Evaldo José Corat, professor pesquisador titular do INPE, por toda a inesgotável paciência e interesse com que me atendeu, durante este trabalho.

Ao Prof. Dr. José Roberto Martinelli, professor pesquisador do IPEN, pelo inestimável auxílio, na compreensão da microestrutura das cerâmicas e pela oportunidade que me deu de testar e estudar estruturalmente estes materiais.

Ao Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato, professor titular do Instituto de Física de São Carlos, muito obrigado por ter me recebido e pela atenção e suporte dispensados durante as visitas em São Carlos

A Prof<sup>a</sup>. Dra. Alessandra Rastelli e ao Jason por toda a atenção dispensada durante os ensaios em São Carlos.

A Prof<sup>a</sup>. Dra Márcia Martins Marques, por ter me recebido na pós graduação, durante o curso de mestrado e início do doutorado, obrigado pelo suporte, atenção e confiança, com que tratou a todos nós.

A Prof<sup>a</sup>. Dra Míriam Lacalle Turbino, por ter me apoiado durante a fase experimental deste trabalho na aquisição de parte dos materiais de consumo e por me dar as primeiras noções e despertar o interesse em bioestatística.

A Prof<sup>a</sup>. Dra Margareth Oda, obrigado por todos os incentivos durante os anos de convivência na Disciplina de Escultura Dental.

As Professoras Maria Ângela e Maria Aparecida, obrigado pela amizade, pelo respeito e pela oportunidade de participar da disciplina de Dentística Restauradora I

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Luiza Frigerio, e a todos os colegas do projeto "Envelhecer Sorrindo", muito obrigado pelo carinho e pela oportunidade de poder participar das atividades clínicas, durante todo esse tempo!

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

À Yuri, Ângela, Dra Lúcia, Juliana, Priscila, Maria Amélia, Celso e a todos os estagiários da disciplina de Escultura Dental, com os quais trabalhei durante todos estes anos, muito obrigado pelo companheirismo, e pela motivação, durante todos estes anos de disciplina.

Às minhas queridas colegas Sheila Braga e Thaís Thomé pelo companheirismo desde o mestrado.

À minha saudosa amiga e colega Ninoshka Uceda Gomez pessoa única, de caráter sem igual, que Deus te abençoe sempre, por tudo que você nos fez e principalmente ensinou.

Aos meus queridos amigos e colegas de pós graduação, Fernando Aparecido "Cidão", Sérgio, Henrique, Camilla, Patrícia da Ana, Fabião e Felipe, obrigado pelo companheirismo e pela força nos momentos mais difíceis e por todos os momentos felizes que passamos juntos, durante o curso.

Aos colegas da pós graduação de ontem, Vinícius, Archilla, Manoel, Robles, Patrícia LLorett, Kátia, Márcio, Alex, Beatriz, Valéria, Carina, Wanessa e de hoje, Fernando, Fred, Luciana, Bruna, Juliana, Débora, Taciana, Denis, Amanda, Carol, Ângela Vigorito, Andrea, Airton, Tais, Gisela, Leila, Alessandra, Ângela Shimaoka, Ellen, Letícia, Marina, Simone, Camila, obrigado pela oportunidade de convivência de crescimento juntos.

Às professoras Patrícia Freitas e Ana Cecília do LELO, obrigado pela amizade e pela atenção, em todos os momentos da pós graduação.

À Soninha, nossa querida técnica do Laboratório de Dentística, muito obrigado por todo o carinho, com qual sempre nos recebeu e por toda inestimável ajuda, que sempre dispensou a todos nós durante estes anos de USP.

À Labordental, especialmente a Sra. Elisa Capelossi, a Dra. Karina Balhes e a TPD Juliana Gonçalves, muito obrigado pelo fornecimento da porcelana Vintage Halo e principalmente, pelo auxílio e atenção durante toda a parte experimental de confecção dos corpos de prova.

À Ivoclar, especialmente ao Sr. Herbert Mendes e a Dra Camila Madruga, muito obrigado pela atenção com o nosso trabalho e pelo fornecimento da porcelana IPS dSIGN.

Às 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.

A todos os técnicos do Departamento de Dentística.

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

Steagall Jr. W. Contribuição para o estudo da influência da espessura, cor, opacidade e marca comercial das porcelanas feldspáticas na propagação da luz visível, através da Teoria de Kubelka Munk e suas implicações na odontologia, para os intervalos de comprimento de onda de 410-500nm e de 410-700nm [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2009.

#### **RESUMO**

O estudo da propagação da luz nas porcelanas é importante para entender seu comportamento óptico frente a situações clínicas como fotoativação de cimentos resinosos e sua resposta estética, quando observada sobre diferentes fundos. Este trabalho estudou a influência da espessura, cor, opacidade e marca comercial das porcelanas feldspáticas na propagação da luz visível, através da teoria de Kubelka-Munk (KM), nos intervalos de comprimento de onda de 410-500nm e de 410-700nm. Foram confeccionados discos de 12,5mm por 1 mm de espessura de porcelana feldspática de duas opacidades, corpo (B) e corpo opaco (BO), das marcas Vintage Halo (HALO), Noritake Super Porcelain EX-3 (NORI) e IPS dSIGN (IPS), nas cores A1, A35 e B3 (n=7). Os discos foram polidos através de uma série de lixas abrasivas até a granulação 600 e acondicionados individualmente em ambiente seco. Os discos tiveram suas curvas espectrais de refletância obtidos em contato óptico, sobre fundo branco e preto, através do uso de um espectrofotômetro com esfera de integração acoplada, no intervalo de comprimento de onda de 410-700nm. As curvas de refletância foram inseridas na teoria KM, para obtenção e análise quantitativa e qualitativa das propriedades ópticas de cada material. As análises qualitativas envolveram a observação do comportamento espectral das curvas de espalhamento, absorção, espessura infinita e reflexão para todos aos materiais em função do comprimento de onda. As análises quantitativas envolveram a obtenção das espessuras ópticas estimadas em extinções crescentes de 50% ( $X_{50}$ ), 90% ( $X_{90}$ ), 95% ( $X_{95}$ ) e "infinita" 99.9% ( $X' \sim_{99.9}$ ), para o intervalo de comprimento de onda de 410-500nm e a obtenção da espessura óptica infinita 99.9% (X∞) e

dos Parâmetros de Translucidez (TP), estimados nas espessuras de 0.5mm (TP<sub>0.5</sub>), 1.25mm  $(TP_{1.25})$  e 2.00mm  $(TP_{2.00})$ , para o intervalo de comprimento de onda de 410-700nm. Os Parâmetros de Translucidez foram utilizados para avaliar o efeito de mascaramento da porcelana sobre os fundos utilizados. Os resultados mostraram que todos os fatores (cor, opacidade e marca comercial) exerceram influência para atenuar a propagação da luz através dos espécimes. De maneira geral, a maior atenuação de luz esteve ligada à porcelanas de corpo opaco e mais saturadas (cor A35 e B3). Em relação à marca comercial a porcelana IPS, atenuou de maneira geral mais luz nas cores A35 e B3 em relação às mesmas cores das marcas HALO e NORI nas espessuras ópticas estudadas. Os valores de espessura óptica infinita (espessura onde a energia transmitida é praticamente zero), para ambos os intervalos de comprimento de onda, para todos os materiais, superaram os limites de espessura clínica indicados pela literatura. Isto implicou que, no caso do intervalo de 410 a 500nm, a energia transmitida pode girar de 20 a 5% para as porcelanas de corpo, e de 10 a 5%, para as de corpo opaco e, no caso do mascaramento, as porcelanas serão mais influenciadas por fundos que apresentarem resposta colorimétrica acentuada nas regiões alaranjadas e avermelhadas do espectro visível. As análises qualitativas mostraram que para todos os materiais e espessuras a luz será preferencialmente atenuada no início do espectro, intervalo de 410 a 500nm e menos atenuada em direção ao final do espectro visível. Os resultados também mostraram que com o aumento da espessura, a atenuação aumentou, e que a relação entre espessura e atenuação é não linear.

Palavras-Chave: Porcelanas Feldspáticas – Cerâmicas - Propriedades Ópticas – Luz - Espectrofotometria

A contribution to the study of the influence of thickness, shade, opacity and commercial brands of feldspatic porcelains on the propagation of visible light, through the Kubelka Munk Theory and its implications in dentistry, for the wavelength intervals of 410-500nm and 410-700nm [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2009.

#### **ABSTRACT**

The study of light propagation through porcelains is important to understand its optical behavior in front of clinical situations such as the photo-activation of luting cements and their esthetic responses, when observed against different backgrounds. This research studies the influence of thickness, shade, opacity, and commercial brands of feldspatic porcelains on the propagation of visible light through the Kubelka Munk Theory for the wavelength intervals of 410-500nm and 410-700nm. Discs with 12,5mm in diameter and thickness of 1mm were prepared with feldspatic porcelain in two opacities, body (B) and opaque body (BO), three commercial brands; Vintage Halo (HALO), Noritake Super Porcelain EX-3 (NORI), and IPS dSIGN (IPS), and three shades, A1, A35, and B3 (n=7). The discs were polished with a series of waterproof sandpapers down to a #600 grade- sandpaper, and individually stored in a dry environment. The spectral reflectance curves were acquired from the disks on optical contact, against white and black backgrounds, with a spectrometer with a diffuse reflectance attachment (an attached integration sphere), in the wavelength interval of 410-700nm. The reflectance spectra were inserted in the KM theory to quantitatively and qualitatively obtain and analyze the optical properties of each material. The qualitative analyses were obtained from the observation of the spectral behavior of scattering, absorption, infinite optical thickness, and reflection spectra for all materials as a function of the wavelength. The quantitative analyses involved obtaining the predicted optical thicknesses in extinctions with increments of 50% ( $X_{50}$ ), 90% ( $X_{90}$ ), 95% ( $X_{95}$ ) and

"infinite" 99.9% (X'∞99.9), for the wavelength interval of 410-500nm and the obtaining of the infinite optical thickness 99.9% (X∞) and the translucency parameter (TP) estimated as 0.5mm ( $TP_{0.5}$ ), 1.25mm ( $TP_{1.25}$ ) e 2.00mm ( $TP_{2.00}$ ) thicknesses, for the wavelength interval of 410-700nm. The Translucency parameters were used to evaluate the porcelain masking effect against the tested backgrounds. The results showed that all factors (Shade, Opacity, and Commercial Brand) exerted influence to attenuate the light propagation through the specimens. In general, a higher light attenuation was linked to porcelains exhibiting more saturated shades (A35, and B3) and body opaque types. The commercial brand IPS porcelain shades A35 and B3, generally attenuated more light than the same shades of HALO and NORI for the studied optical thicknesses. The infinite optical thicknesses values (thicknesses where the transmitted light is close to zero) is above the clinical thickness reported in the literature for all materials and both wavelength intervals. This fact implied that regarding the 410-500nm interval, the body porcelain could transmit from 20 to 5% of the energy, while the opaque body transmits from 10 to 5%. The masking effect of the porcelains will be increasingly translucid against the background with increased colorimetric response on the Red – Orange regions of the visible spectra. The qualitative analysis showed that for all materials and thicknesses, the light will preferably be attenuated in the beginning of the spectra, on the 410-500nm interval e and will be less attenuated towards the ending of the visible spectra. The results also showed that the attenuation increased with the increase of the thickness, and the relationship between thickness and attenuation is nonlinear.

Keywords: Feldspatic Porcelains – Ceramics - Optical Properties – Light - Spectrophotometry.

# SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
3 PROPOSIÇÃO	110
4 MATERIAL E MÉTODOS	111
5 RESULTADOS	153
6 DISCUSSÃO	215
7 CONCLUSÕES	238
REFERÊNCIAS	240

# 1 INTRODUÇÃO

As restaurações cerâmicas são materiais restauradores indiretos que melhor se aproximam das características ópticas dos tecidos dentais. Devido a este comportamento, tem sido cada vez mais escolhidas como opção de tratamento pelos pacientes, para reposição de estrutura dental perdida, tanto para dentes anteriores como para dentes posteriores. Esta demanda crescente reflete o sucesso deste material, sendo que novas opções tem sido apresentadas pela indústria, opções estas que tentam mimetizar cada vez mais as propriedades mecânicas e principalmente as ópticas dos elementos dentais.

Dentre todas as opções de materiais cerâmicos disponíveis no mercado, o grupo das porcelanas feldspáticas é o grupo que apresenta melhor compatibilidade entre as propriedades ópticas do esmalte e dentina humanas. Estes materiais têm sido utilizados tradicionalmente como porcelana de cobertura de subestruturas metálicas e também, nos últimos anos, como restaurações puras, fixadas adesivamente, através do uso de cimentos resinosos, diretamente sobre a estrutura dental.

O seu grau de translucidez é uma das características ópticas mais apreciadas e via de regra determina sua maior preferência para casos, onde a exigência "estética" é maior. As características ópticas destas materiais são o resultado direto da propagação da luz através de suas estruturas, propagação esta regida pelas propriedades ópticas inerentes das porcelanas. À medida que os feixes de luz caminham pela estrutura da porcelana, parte desta luz é espalhada e parte absorvida, sendo que o resultado desta interação dá ao observador suas características de reflexão e transmissão de luz. Esta captação das propriedades ópticas da porcelana pelo observador, além de reger a apreciação "estética",

também determina a construção da própria restauração, que é processada em camadas com diferentes opacidades e cores, sendo que cada fabricante equaciona de maneira particular a contribuição destes dois fatores em cada espessura aplicada. Dos tipos de pós utilizados, os pós do tipo corpo e corpo opaco tem importância fundamental no sucesso da restauração por agirem como filtros de dupla via, controlando a influência do fundo e dando "profundidade" de cor a restauração.

Sendo assim, o sucesso clínico destas restaurações está ligado diretamente ao seu desempenho óptico. Entretanto, quer seja aplicada sobre estrutura metálica, ou pura sobre estrutura dental, a previsibilidade do comportamento óptico destas variáveis ainda é muito ineficiente. O resultado do tratamento estético ainda hoje é realizado na base da tentativa e erro, pela prova da peça, e observando visualmente seu efeito imediato, após a confecção da restauração pelo protético.

Quando ajustes precisam ser feitos, existem situações, como no caso das metalocerâmicas, onde é possível uma pequena correção superficial da restauração, mas se o erro ocorreu em camadas intermediárias, como a de corpo, a restauração terá de ser reaplicada sobre o metal. No caso das cerâmicas puras, a falta de previsibilidade é ainda mais crítica, porque o resultado estético do material, de maneira final, só pode ser apreciado, muitas das vezes, após a cimentação sobre a estrutura dental, e se a peça for recusada, ela terá de ser desgastada e será perdida. Por outro lado, mesmo que após a cimentação a restauração esteja aceitável esteticamente, sua sobrevida clínica dependerá essencialmente do protocolo de fotoativação do cimento, através da peça, que neste caso funciona como uma verdadeira barreira atenuando de maneira eficiente a energia. A falha em polimerizar adequadamente o cimento pode levar a complicações a longo prazo, tais como : sorção e

solubilidade, aumento de volume do cimento, deslocamento e infiltração de coroa, baixa resistência mecânica e retenção, sensibilidade pós operatória e cárie secundária.

Tais situações geram transtornos ao paciente e elevados custos ao profissional.

A fim de estabelecer parâmetros seguros e mais previsíveis para utilização de todas estas aplicações, investigações devem ser feitas para estudar e compreender o comportamento da luz e suas interações na estrutura do material. Estas interações, como descrito acima são percebidas pelo observador, mas ainda não são quantificadas.

Esta quantificação é feita através de ensaios de espectrofotometria e seus resultados interpretados, com o auxílio de teorias que explicam quantitativamente a influência da estrutura do material e de suas variáveis, como espessura, cor e opacidade na propagação da luz.

Dentre estas teorias, a teoria de Kubelka – Munk (KM) tem sido extensamente utilizada em vários campos da ciência, como papel e celulose, pigmentos e corantes, tintas de cobertura, fibras naturais, alimentos, transporte de energia em tecidos biológicos e aplicações em medicina diagnóstica. A teoria de KM, além de quantificar as propriedades ópticas, também é capaz de equacionar o comportamento óptico do material estudado, em qualquer espessura e fundo experimental.

No campo odontológico isto implica em dizer, que além da informação básica das propriedades ópticas das porcelanas, esta compreensão poderá ser estendida a diferentes cenários clínicos, podendo dar ao profissional e ao protético uma maior previsibilidade e segurança para o planejamento e execução das restaurações, cujo resultado direto será o bem estar do paciente.

# 2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção apresenta-se dividida em seis 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 à revisão da teoria de Kubelka Munk (KM), a quinta a revisão geral da estrutura, microestrutura e manufatura das restaurações cerâmicas e a sexta a revisão das propriedades ópticas das cerâmicas e 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 radio.

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 freqüência e período

Se contarmos quantas vezes estes movimentos simples ou vibrações acontecem teremos a freqüência com a qual estas vibrações ocorrem. Sendo assim, freqüência 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 freqüência das vibrações (v) e o seu período (T) são recíprocos:  $frequência=\frac{1}{período}$  ou  $período=\frac{1}{frequência}$ . Em termos algébricos, freqüência seria:  $v=\frac{1}{T}$ . Se este movimento é descrito em um gráfico, em termos de um ponto p movendo-se em círculo, a freqüência 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. È 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 ( $\lambda$ ) 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(v), o comprimento de onda ( $\lambda$ )e a velocidade das ondas (c) é dada pela equação :  $v = \frac{c}{\lambda}$ 

#### 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 freqüência.

# 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 freqüência e comprimento de onda

Sabe-se que qualquer onda é gerada por algum tipo de fonte de vibração e, a freqüência 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 freqüência. 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 ( $\lambda$ ) e velocidade (c), para um outro meio, passa a ter comprimento ( $\lambda_m$ ) e

velocidade (v) e se relacionam da seguinte maneira  $\frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{c}{v} = n$  . Observa-se também que a

freqüência não se altera.

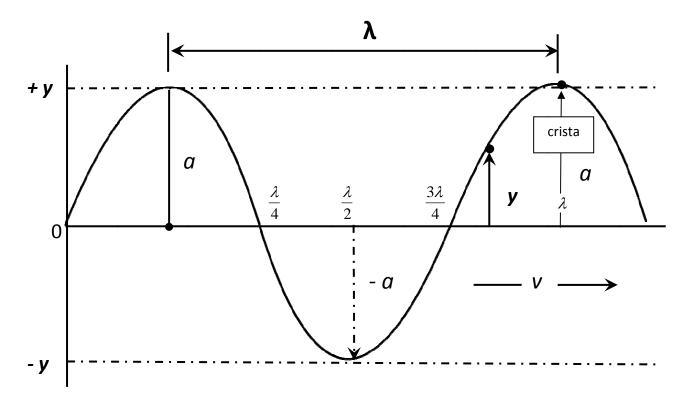


Figura 2.1 — Componentes de uma onda. O deslocamento y (oscilação) de qualquer ponto ao longo da onda, em um dado tempo (t) é dado pela distância vertical deste ponto da sua posição de equilíbrio (0). O valor varia constantemente de + para -. A amplitude de qualquer onda é dada pela letra a e é definida como valor máximo de deslocamento (oscilação) + y. A freqüência 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 freqüência v e do comprimento de onda v, a velocidade das ondas v é dada pela equação :  $v = v \cdot \lambda$ . 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 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 x  $10^8$ 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 ( $\gamma$ ) 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 freqüência e o comprimento de onda. As ondas do espectro visível estendem-se do final do ultravioleta (380 a 400nm) até o vermelho profundo (700 a 780nm). Assim como não captamos todas as ondas sonoras acima de certa freqüência, o olho humano também não responde as vibrações de luz com freqüências 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 espetro eletromagnético e suas divisões

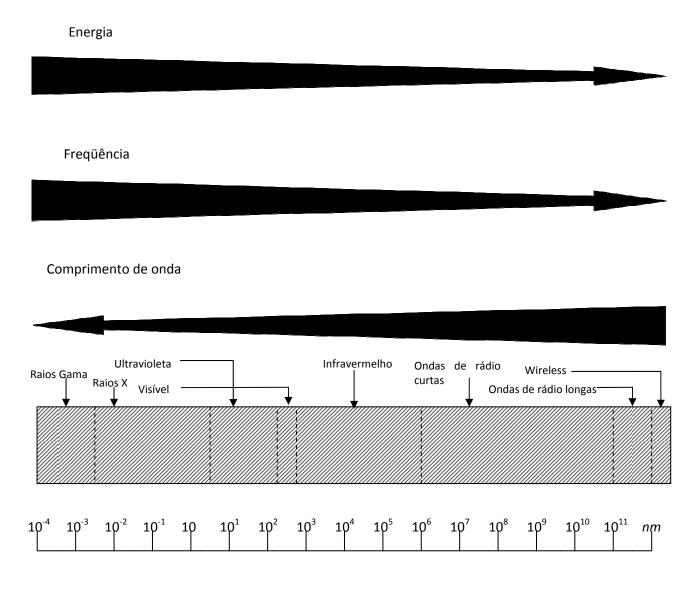


Figura 2.2 – Escala dos comprimentos de onda nos limites conhecidos do espectro eletromagnético.

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).

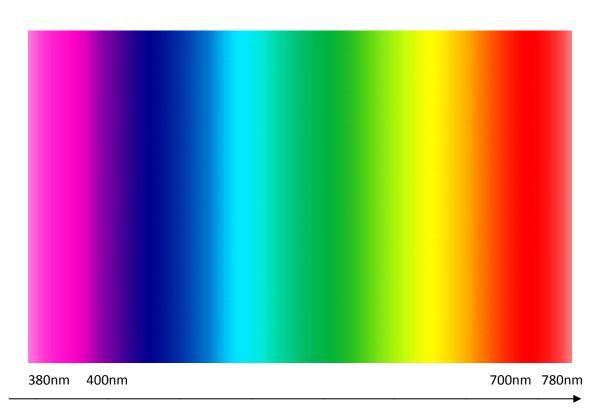


Figura 2.3 – Diferentes impressões visuais dos comprimentos de onda do espectro visível

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<sup>6</sup>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<sup>6</sup>nm) também conhecido como infravermelho distante (PHILIPS, 1981).

## 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). È 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 :  $\Delta = n.d + n'd' + n''d'' + ... \text{ sendo que n é o índice de refração e n',n'' os índices de refração dos vários meios e d a distância que as ondas percorrem pelo meio e d', d'' as distâncias nos diferentes meios (Figura 2.5).$ 

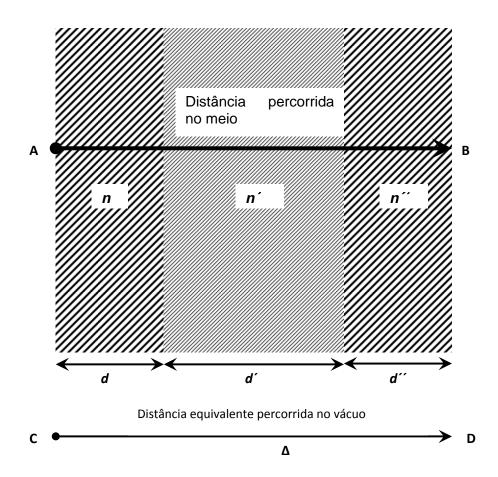


Figura 2.5 - O passo óptico através de uma série de meios ópticos

# 2.2 Interações da luz com a matéria

De maneira simples quando um feixe de luz incide sobre uma superfície ou meio translúcido, como as cerâmicas, 3 processos principais podem ocorrer: reflexão, transmissão

ou absorção. Estes processos também são conhecidos como propriedades ópticas do meio. Um exemplo simplificado é dado na Figura 2.6.

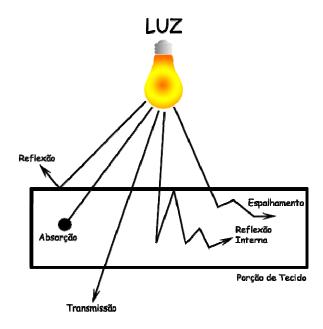


Fig 2.6 - Interações da luz com a matéria

#### 2.2.1 reflexão

Philips (1981) define "reflexão" como a devolução de radiação por uma superfície, sem modificação da freqüência 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 ( $\emptyset$ ) 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 contêm 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.

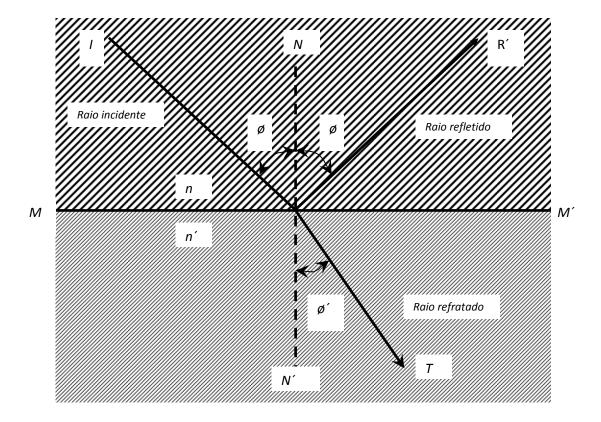


Figura 2.7 – Reflexão e refração no limite que separa dois meios com índices de refração respectivamente n e n'. Os ângulos de incidência e reflexão são iguais ( $\phi$ ) – Primeira lei. O seno do ângulo de reflexão e o seno do angulo de refração mantêm uma relação constante – Segunda Lei :  $\frac{sen\phi}{sen\phi'}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

citar o a cerâmica odontológica e o esmalte humano (BRODBELT; O'BRIEN; FAN, 1980; BRODBELT et al., 1981).

A razão entre o fluxo radiante incidente e o fluxo refletido é chamada de "refletância ou fator de reflexão" e é expressa em função de R.

#### 2.2.2 transmissão

Philips (1981) define transmissão como a passagem de radiação através de um meio, sem modificação da freqüência 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.

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:  $T = \frac{I}{I^{\circ}}$  sendo expressa em porcentagem de T (%T).

# 2.2.3 absorção

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 parte devida a absorção, embora que em certas circunstâncias o espalhamento também contribua de maneira importante. A perda de intensidade (absorvida + espalhada) 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:

 $I=I^{\circ}.e^{-\alpha x}$ , aplicando-se o logaritmo, temos:  $\ln\left(\frac{I}{I^{\circ}}\right)=-\alpha.x$ , sendo (I<sub>0</sub>) o raio incidente, (I) o raio emergente do meio, ( $\alpha$ ) o coeficiente de absorção do meio e (x) a espessura 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.

# 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). A cerâmica, o esmalte e a dentina humana, apresentam este tipo de característica (BRODBELT; O'BRIEN; FAN, 1980; BRODBELT et al., 1981).

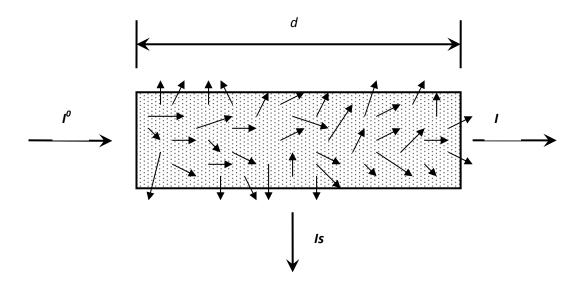


Figura 2.9 – Espalhamento de luz pelas partículas de um meio. ( $I^0$ ) – Intensidade incidente, (I) intensidade emergente do meio. (Is) Intensidade espalhada e (Id) distância ou passo óptico do meio

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 a do 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.

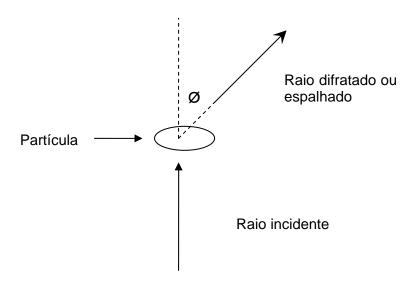


Figura 2.10 – Espalhamento do raio incidente por uma partícula

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

Mclean (1979a) e Broadbelt, O'Brien e Fan (1980), demonstram que nas cerâmicas odontológicas, os fenômenos de espalhamento e absorção, regem o tipo de reflexão e transmissão do material, que em ambos os casos são mistas (difuso + colimado) (Figura 2.1).

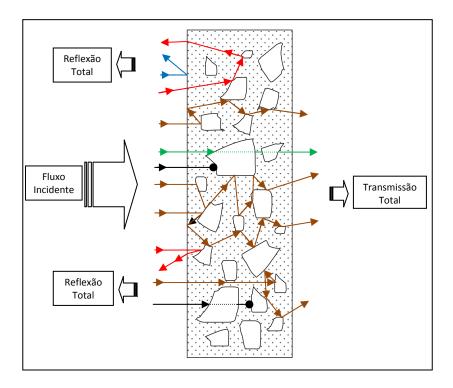


Figura 2.11 – Ilustração mostrando o comportamento da interação da luz numa camada de cerâmica odontológica

Na figura 2.11 ilustra as interações da luz na superfície e no interior da camada de cerâmica. O pontilhado de fundo representa a matriz vítrea e as formas irregulares em branco as fases. A maior parte dos feixes de luz, refrata, isto é espalha nos limites entre as fases, no interior do material, gerando reflexão e transmissão difusa. Uma parte dos feixes é absorvida e uma pequena parte é transmitida de maneira direta e refletida de maneira especular.

A diferença entre os índices de refração entre as diferentes fases e a concentração dos pigmentos (Tabela 2.1) aumenta a atuação do espalhamento e da absorção, sendo o espalhamento mais proeminente, aumentando assim a atenuação de luz. Os autores ainda afirmam que quanto maior a espessura da camada de cerâmica, maior será a atenuação.

Tabela 2.1 – Alguns índices de refração de alguns compostos utilizados nas cerâmicas odontológicas (McLEAN, 1979a)

	Índice de refração
SnO <sub>2</sub>	2.0
ZrO <sub>2</sub>	2.2
TiO <sub>2</sub>	2.52
$Al_2O_3$	1.8
SiO <sub>2</sub>	1.51
	ZrO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

# 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 refletida e ou 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 2.12).

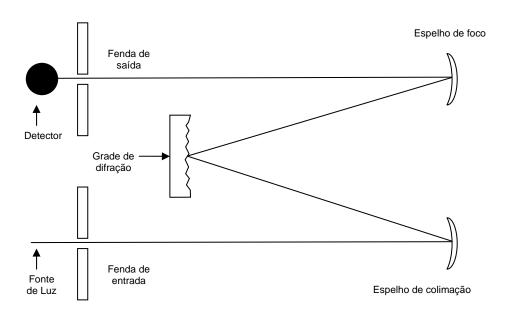


Figura 2.12 – Esquema de um monocromador

# ✓ 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.

# 2.3.1 a esfera integradora ou de integração.

Materiais restauradores e tecidos duros dentais são substâncias espalhadores de luz (COOK; McAREE, 1985; RAGAIN; JOHNSTON, 2001; LEE, 2007). Isto significa que a natureza da propagação da luz, é influenciada fortemente pelo espalhamento. Para estudar as propriedades ópticas destes objetos, a energia espalhada deve ser coletada, com utilização de dispositivos, chamados de Esferas de Integração ou Integradora. As propriedades ópticas são obtidas através da medição das curvas de reflexão e ou transmissão total e ou difusa,

destes materiais. As palavras "total" e "difusa" representam, de maneira geral o modo de operação da esfera, na inclusão ("SCI" = "total") ou exclusão ("SCE" = "difusa") do componente especular nas medições. Quando a esfera opera em SCE<sup>1</sup>, as leituras são mais sensíveis a textura de superfície da amostra, ao passo que quando opera em SCI<sup>2</sup>, integrando o sinal especular (colimado), as leituras são praticamente insensíveis a textura de superfície (MINOLTA, 1998).

Segundo Zijp (2001), de maneira simples, uma esfera de integração é uma cavidade esférica, que possui a porção interna branca. Num caso ideal, a parede interna é "perfeitamente branca" e idealmente difusora de luz por reflexão, não absorvendo então nenhum comprimento de onda. Neste caso a luz, uma vez presente em tal esfera, estaria presente para sempre, sendo refletida infinitamente pelas paredes da cavidade. A cada nova reflexão a nova direção de propagação seria independente da direção anterior. E assim a luz se propagaria infinitamente, mas não seria observada, pois para observação, seria necessária a absorção de pelo menos uma porção desta luz.

As esferas de integração utilizadas em instrumentos de fotometria, como os espectrofotômetros, não são ideais. As paredes internas das esferas são recobertas por uma substância difusora de luz do tipo lambertiana<sup>3</sup>, chamada de Sulfato de Bário (BaSO<sub>4</sub>) (RYDER,1998). Sulfato de Bário reflete aproximadamente 0.99 da luz visível, então a cada evento de reflexão uma parte é absorvida. Luz também é perdida pelas janelas presentes na parede da esfera. Estas janelas são usadas para as entradas dos feixes de luz, para os porta amostras e para o detector. O número de janelas e suas funções dependem da conformação da esfera e do jeito que ela é utilizada. Neste trabalho experimental, a esfera foi utilizada em

<sup>1</sup> SCE = "Specular Component Excluded"

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> SCI = "Specular Component Included"

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Superfície lambertiana é uma superfície perfeitamente difusora de luz em todas as direções (RYDER,1998).

modo de refletância e possui 05 janelas: A janela do detector na base da esfera, a janela da entrada do feixe de luz para a amostra, a janela do porta amostra para a "amostra", a janela de entrada do feixe de luz para o controle e a janela do porta amostra para o controle Um esquema desta esfera de integração pode ser observado no capitulo de materiais e métodos deste trabalho.

A fim de compensar estas perdas de energia as esferas de integração são calibradas em função do experimento a ser realizado, reflexão ou transmissão. Nesta calibração padrões de reflexão são utilizados, de maneira, que estas perdas são compensadas. Deste modo os valores obtidos de reflexão e transmissão medidos são reais (ZIJP, 2001).

A seguir uma descrição geral da teoria utiliza neste trabalho para analisar as propriedades ópticas acima citadas, será descrita.

#### 2.4 Revisão da teoria de Kubelka – Munk

# 2.4.1 leis quantitativas da medição da luz.

Segundo Rammohan (2009), no começo de século XVII, Pierre Bougher, matemático francês e Johann Heinrich Lambert, matemático, físico e astrônomo suíço estenderam a natureza qualitativa da característica espectral da luz a uma análise quantitativa. Bougher descreveu a atenuação da luz à medida que ela atravessava um meio óptico sólido transparente e homogêneo (MIDDLETON, 1961). De acordo com Bougher, camadas de

mesma espessura absorvem iguais frações da luz incidente que as atravessa, de maneira que substituindo estas camadas de mesma espessura por um meio contínuo e homogêneo, uma atenuação exponencial da luz, em função da distância percorrida pelos fótons é observada. Em uma equação matemática simples esta relação é definida por:  $I=I_0exp^{(-x)}$  (Eq. 2.1), onde  $I_0$  = Intensidade do feixe de luz monocromática de um determinado comprimento de onda, I = Feixe de luz transmitido através da camada do meio, x = espessura da camada do meio de propagação. Considerando a característica do meio investigado, esta relação exponencial foi expressa como  $I=I_0$   $exp^{(-\alpha x)}$  (Eq. 2.2), onde  $\alpha$  = absorção ou coeficiente de extinção (BRÜGEL, 1962). Esta relação exponencial é freqüentemente chamada de Lei de Bougher-Lambert ou Lei da Absorção de Lambert.

Segundo esta lei existe uma atenuação exponencial da luz em função da espessura, de forma que é possível se obter a profundidade de penetração da luz na amostra ou "depth of light penetration", que é a situação na qual a intensidade de energia incidente decresce a "1/e" ou 37% do seu valor inicial. A lei de Lambert se aplica apenas a meios transparentes sólidos ou líquidos, e não em meios com composições químicas variadas e heterogêneas, tais como soluções e gases (BRÜGEL, 1962).

Em 1852, o físico e matemático alemão August Beer, demonstrou que para soluções (compostas por solutos absorventes em solventes transparentes), o coeficiente de absorção "α", na equação 2.1 era proporcional a concentração "C" do soluto. A proporcionalidade de concentração do soluto em relação ao solvente estabeleceu uma relação entre Absorbância e Transmitância, sendo que esta relação tornou-se conhecida como Lei de Beer – Lambert ou simplesmente Lei de Beer, e formou a base inicial das análises espectrais nos espectros visível e infravermelho (BRÜGEL, 1962; LAMOLA; TURRO, 1977).

Segundo Watts e Cash (1994), a Lei de Beer – Lambert é como todas as leis físicas, uma generalização, que é consistente para a maioria dos materiais absorvedores de luz, no estado sólido e líquido. Nestas circunstâncias os efeitos da reflexão na superfície dos materiais são mínimos. Entretanto, tecidos biológicos e biomateriais, como os materiais restauradores, são meios túrbidos, "turbid media", espalhadores de luz (RAMMOHAN, 2009). Do total de energia incidida, alguns fótons são absorvidos, alguns são transmitidos de maneira direta (em linha reta) e percorrem a distância equivalente a espessura da amostra, outros são transmitidos de maneira difusa (em "Zig-Zag") percorrendo uma distância maior do que a espessura da amostra, e alguns são refletidos, espalhados de volta contra o sentido de incidência, como observado na figura 2.11. Os "caminhos" tomados pelos fótons espalhados em função do sentido de incidência da luz são aleatórios (RAMMOHAN, 2009). A lei de Beer-Lambert não leva em consideração os efeitos do espalhamento (WATTS; CASH, 1994). Nestes casos a Lei de Beer-Lambert deve ser corrigida ou uma abordagem, através do fenômeno da Reflexão deve ser adotada (WATTS; CASH, 1994; RAMMOHAN, 2009).

Segundo Rammohan (2009), é de senso comum que as propriedades ópticas dos materiais espalhadores de luz, devem ser entendidas através de ensaios de refletância. Nestes casos os fótons do fluxo incidente, penetram no material, interagem com sua estrutura, e a porção refletida, traz informações a respeito das combinações de espalhamento e absorção do interior do material. Portanto medindo a mudança da intensidade da reflexão, em função do comprimento de onda, as variações observadas no sinal são o reflexo destas combinações e as propriedades ópticas podem ser determinadas.

#### 2.4.2 a teoria de Kubelka-Munk

Baseando-se na Lei de Beer-Lambert, da atenuação de luz colimada, Paul Kubelka e Franz Munk derivaram em 1931, uma teoria similar e fenomenológica, descrevendo um feixe de luz difuso passando através de um meio absorvedor e espalhador. Eles introduziram um termo de espalhamento que redireciona uma porção do feixe incidente, na direção oposta, provendo um fluxo de luz diretamente oposto a este feixe de fótons incidente (SPLINTER; HOOPER, 2006).

### 2.4.3 condições para a validação da teoria.

Kubelka (1931) descreve as condições sobre as quais a teoria é valida:

- O espécime deve ter uma extensão tal, que o efeito do "edge-loss" ou perda de luz, seja desprezível.
- O espécime deve ser "infinitamente" plano e com faces paralelas.
- O espécime deve ser assumidamente homogêneo, de maneira que as heterogeneidades (que necessariamente existem, para que haja espalhamento), estejam uniformemente distribuídas, e sejam incomparavelmente menores que a espessura do espécime.
- A princípio o meio onde o espécime imerso, é considerado o mesmo, de onde se propaga o feixe de luz (geralmente o ar).

- Um lado do espécime é iluminado, sendo que a luz refletida ou transmitida não seja refletida novamente para ele, a não ser que um fundo de reflexão ou "backing" seja considerado para tal objetivo.
- A mudança do comprimento de onda, por espalhamento ou absorção não é levada em consideração.
- A princípio, uma iluminação espectralmente homogênea é assumida, mas de maneira geral, iluminações não homogêneas também podem ser assumidas, desde que o material seja espectralmente não seletivo.

Estas condições foram depois revistas por vários autores, como Judd (1937), Saunderson (1942), Kubelka (1954), Johnston et.al, (1996), Vargas e Niklasson (1997), e Molenaar, ten Bosch e Zijp (1999).

Judd (1937) aponta que nem todas as condições apontadas por Kubelka e Munk (1931) se verificam na prática, por que:

- Os espectrofotômetros muito dificilmente geram uma luz perfeitamente difusa, ou captam uma luz também perfeitamente difusa, oriunda do espécime, ou os dois.
- Uma parte da luz, invariavelmente é perdida pelas bordas dos espécimes
- As quantidades de luz absorvidas e espalhadas pela maioria dos materiais variam de acordo com o comprimento de onda
- Os materiais diferem entre si no quesito de serem perfeitamente homogêneos com imperfeições ou heterogeneidades, distribuídas de maneira uniforme.

O autor realizou uma coletânea de artigos, publicados pelo National Bureau of Standards, envolvendo esmaltes cerâmicos, papel e celulose, tintas e cimentos de silicato

para uso odontológico. Os métodos envolvidos para o cálculo das propriedades ópticas K e S foram três:

- Método da razão de contraste ("Contrast Ratio Method")
- Método da refletividade ("Reflectivity Method")
- Método da dupla espessura ("Dual Thickness Method")

Para todos os métodos acima, os cálculos só foram possíveis pela computação das áreas das curvas, obtidas em gráficos.

Para todos os materiais envolvidos, os valores de reflexão calculados e preditos foram bem aproximados, o que validou o uso da teoria sob estas condições.

Saunderson (1942) estabeleceu um método de correção para as perdas de luz, que ocorriam por reflexão direta (colimada) e difusa, devido ao fato do material não conter o mesmo índice de refração do meio. Este método de correção foi incorporado à teoria de KM, e ficou conhecido como método de correção de Saunderson.

Kubelka (1954) publicou uma complementação dos trabalhos de 1931 e de 1948, considerando os materiais com camadas não homogêneas, situações onde os coeficientes S e K variam drasticamente entre diferentes camadas de diferentes materiais, quando agrupadas. Neste artigo algumas restrições, consideradas nas publicações anteriores, como a homogeneidade das camadas, a dispersão uniforme das heterogeneidades e a variação das propriedades ópticas em função do comprimento de onda são relaxadas.

O autor faz considerações para a determinação das propriedades ópticas em situações onde múltiplas camadas de materiais estão presentes. Por fim o autor também considera a questão da polaridade dos espécimes, ou seja, a importância do posicionamento

(polaridade) da face a ser iluminada nos ensaios de reflexão e transmissão (mono e multicamadas), no sentido que para reflexão, o ensaio é dependente da face do espécime a ser iluminada, e para transmissão, esta condição não é necessária.

Jonhston et al. (1996) estabeleceram uma relação para estipular a quantidade de perda de energia, pelas bordas do espécime. Demonstraram que esta perda afetava a obtenção dos parâmetros ópticos de maneira sensível e que podia ser estimada. Os autores concluíram que a intensidade da perda não era constante e que variava de acordo com as propriedades ópticas de cada material. Esta variação era ligada ao termo "bSX" da equação KM, (Equações 4.9;4.13), sendo "b" a constante óptica representativa do material, "S" o espalhamento e "X" a espessura da amostra. Os autores demonstraram que quanto maior era o termo "bSX", menor era a perda de energia ("edge – loss") pelas bordas do material, e logicamente menor sua influência no cálculo das propriedades ópticas.

Molenaar, ten Bosch e Zijp (1999) realizaram um estudo comparando os diferentes tipos de iluminação, colimada e difusa, na obtenção das propriedades ópticas de materiais difusores de luz, através da teoria KM, demonstrando as condições onde ambos os tipos de iluminação poderiam ser aplicados.

### 2.4.4. descrição das equações

Iremos apenas informar aqui o contexto geral das equações de KM, visto que maior detalhamento é apresentado no capítulo 4.

O sistema de equações Kubelka-Munk (KM) descreve o comportamento de dois feixes de luz, paralelos, um viajando através da amostra de cima para baixo (Feixe incidente)( $I_d$ ) e outro viajando através da amostra de baixo para cima, no sentido contrário da incidência( $J_d$ ). O conjunto de equações diferenciais resultante é (KUBELKA; MUNK, 1931):

$$\frac{dI_d}{dz} = -(S+K)I_d + SJ_d \tag{Eq. 2.3}$$

$$\frac{dJ_d}{dz} = (S+K)J_d + SI_d \tag{Eq. 2.4}$$

Onde, z é a espessura da amostra, medida perpendicularmente a partir da face de incidência (lado iluminado), "S" o coeficiente de espalhamento e "K", o coeficiente de absorção. Devido a este motivo a teoria KM, é conhecida por teoria de dois fluxos (uma especialização das teorias chamadas de "Many – Flux Theories"), devido aos dois feixes, ou teoria de duas constantes, devido às constantes que a descrevem, o Espalhamento (S) e a Absorção (K).

A teoria KM original expressa a Reflexão como (KUBELKA; MUNK, 1931):

$$R = \frac{\frac{1}{R\infty}(Rg - R\infty) - R\infty\left(Rg - \frac{1}{R\infty}\right) \exp\left(SX\left(\frac{1}{R\infty}\right)\right)}{(Rg - R\infty) - \left(Rg - \frac{1}{R\infty}\right) \exp\left(SX\left(\frac{1}{R\infty} - R\infty\right)\right)}$$
(Eq. 2.5)

Onde R é a reflexão segundo a teoria KM, Rg a reflexão do fundo ou backing e R∞ a refletividade, S o espalhamento e X a espessura do espécime em milímetros.

Do jeito em que foi apresentada em 1931, os cálculos para a determinação das propriedades ópticas só poderiam ser feitos com o auxílio de gráficos, contendo as curvas de reflexão sobre um fundo experimental (Rg), a refletividade (R∞), sendo a curva de reflexão

observada, quando o espécime fosse opaco, ou seja, na espessura infinita, e por fim a curva da razão de contraste, relação entre a reflexão obtida sobre um fundo experimental e a refletividade.

Devido a estas complexidades, Kubelka (1948) derivou uma série de equações mais práticas que são utilizadas até hoje. Estas equações possibilitaram o cálculo algébrico das propriedades ópticas sem a utilização de gráficos auxiliares. As grandes mudanças foram a adição de duas constantes ópticas representativas do material e, funções de área trigonométricas hiperbólicas. Neste trabalho utilizamos este método, aplicado a reflexão obtida em dois fundos, onde apenas uma camada de material é utilizada, como descrito no capítulo 4.

Os cálculos iniciam-se com a determinação das constantes ópticas chamadas de "a" e "b". Estas constantes representam o material em todas as formulas subseqüentes e ambas são relacionadas com a refletividade. Esta abordagem foi escolhida para as situações onde a refletividade não pudesse ser obtida diretamente, como no caso da maioria dos materiais restauradores e do esmalte e dentina humana.

A refletividade é a reflexão da luz quando o material está com espessura infinita, ou seja, opaco a todos os comprimentos de onda. Neste caso a espessura "x" do material seria limitada de X=0 até X= $\infty$ , sendo que  $R\infty=\lim_{x\to\infty}r$  (Eq. 2.6), onde "r" seria a reflexão. A relação entre  $R\infty$  e "a" e "b" é dada pela equação 4.8 disposta no capitulo de materiais e métodos. Outras relações entre estas variáveis podem ser encontradas como:

$$a = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R^{\infty} + R^{\infty}} \right)$$
(Eq.2.61) e  $b = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R^{\infty} - R^{\infty}} \right)$  (Eq.2.62).

Desta maneira as equações de espalhamento e absorção foram também derivadas de maneira direta, como colocado no capítulo 4.

A relação entre K e S em função de R $\infty$ , também foi derivada, sendo  $\frac{K}{S} = \frac{(1-R\infty)^2}{2R\infty}$  (Eq. 2.7). Esta equação tornou-se a base de aplicação para as proporções e misturas de pigmentos para a indústria de tintas e corantes. Quando a teoria KM é expressa em função de K/S, ela também é chamada de teoria de constante única (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

Por fim a equação de reflexão de KM foi simplificada, em relação e equação inicial (Eq. 2.5), com a inserção de funções hiperbólicas e as constantes "a" e "b, tornando-se:

$$R = \frac{1 - R_g[a - b \ ctgh \ (bSX)]}{a - R_g + b \ ctgh \ (bSX)}$$
(Eq. 2.8 = Eq. 4.13)

Segundo Kubelka (1948), uma vez que as propriedades ópticas S e K de um material em particular estejam determinadas, o comportamento óptico deste material, e suas derivações como cor, opacidade e translucidez, podem ser estimados ou preditos em qualquer espessura e fundo experimental. Esta possibilidade e as simplificações adotadas tornaram a teoria KM imensamente popular, sendo utilizada em larga escala, em vários campos da ciência, como no estudo das propriedades ópticas dos vernizes decorativos e protetores, tintas, papel e celulose, pigmentos e polímeros, fibras naturais e madeiras, alimentos, isolantes térmicos, células fotoelétricas, transporte de energia em tecidos biológicos, medicina diagnóstica e biomateriais, como enxertos e materiais restauradores odontológicos (VARGAS; NIKLASSON, 1997).

Agora passaremos a revisão geral da estrutura, microestrutura e manufatura das cerâmicas.

# 2.5 Revisão da estrutura, microestrutura e manufatura das restaurações cerâmicas

# 2.5.1 definição

Segundo Callister (2007), a ciência dos materiais, divide os materiais sólidos em três grupos principais, Metais, Polímeros e Cerâmicas. Esta divisão é baseada principalmente na estrutura química e atômica, sendo que a maioria dos materiais existentes cai em uma categoria ou outra, embora existam materiais intermediários, como por exemplo, os compósitos, que compreendem o grupo dos materiais formados por dois ou três dos grupos principais.

Os materiais cerâmicos são mais bem definidos, pelo o que não são: não metálicos e inorgânicos. Para diferenciá-los das rochas e dos minerais, as cerâmicas são também definidas como objetos sólidos criados pelo homem pelo "cozimento ou queima" de matérias primas (minerais) em altas temperaturas, o que gerou o termo "cerâmica", que é originário da palavra grega "keramos", que significa "coisa queimada" (RESENBUM; SOCHULMAN, 1997; AGRA, 2004).

Callister (2007) afirma que os materiais cerâmicos são freqüentemente óxidos, nitretos e carbetos. Por exemplo, alguns dos materiais cerâmicos mais comuns incluem óxido de alumínio (ou alumina  $Al_2O_3$ ), dióxidos de silício (ou sílica,  $SiO_2$ ), carbeto de silício (SiC), nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ), e ,além disso, o que alguns chamam de cerâmica tradicional,

compostos de argila (porcelanas), assim como os cimentos e os vidros. No que diz respeito ao comportamento mecânico, as cerâmicas são relativamente rígidas e fortes, sendo que a rigidez e a resistência são comparáveis as dos metais (Figura 2.13). Além disso, as cerâmicas são tipicamente bem duras. Por outro lado, elas são extremamente friáveis (pouco dúcteis), e extremamente susceptíveis a fratura (Figura 2.13). Estes materiais são isolantes térmicos e elétricos e são resistentes a altas temperaturas e a maioria dos ambientes, em relação aos metais e polímeros. No que diz respeito às propriedades ópticas as cerâmicas podem ser transparentes, translúcidas ou opacas, e alguns óxidos cerâmicos (por exemplo, Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) exibem propriedades magnéticas.

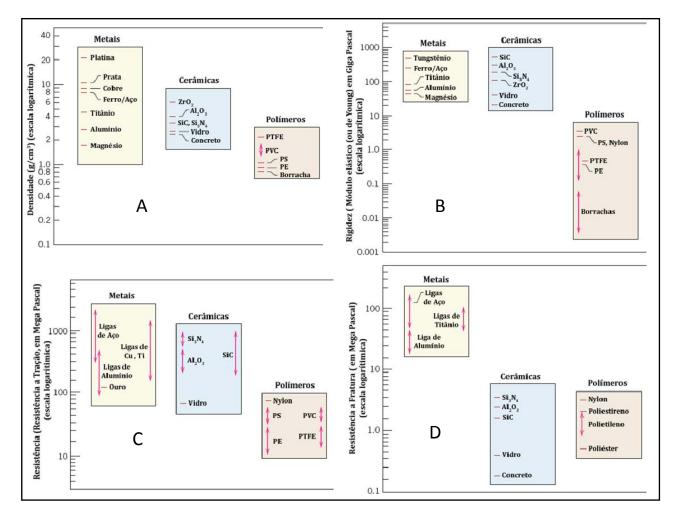


Figura 2.13. Comparação ilustrativa entre os grupos de materiais em função de algumas propriedades A – Densidade, B – Rigidez (Modulo de Young), C – Resistência a tração e D – Resistência a fratura (CALLISTER, 2007).

# 2.5.2 estrutura e composição químicas das porcelanas

Segundo Kelly (1997) as porcelanas são cerâmicas compostas basicamente de vidros de sílica. Sílica e oxigênio são os dois elementos mais abundantes na face da Terra, e formam os silicatos, os principais componentes dos solos, rochas, argilas, areia e das porcelanas. Os arranjos cristalinos mais comuns dos silicatos são os tetraedros de  $SO4_4^{4-}$  (Figura 2.14.) Cada átomo de silício é ligado a quatro átomos de oxigênio, os quais estão situados nos vértices do tetraedro e o átomo de silício no centro (CALLISTER, 2007).

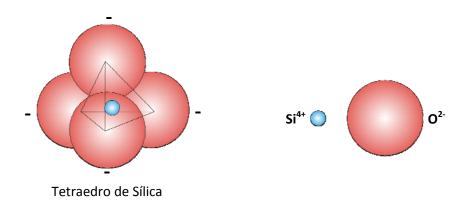


Figura 2.14. Esquema do tetraedro de  $SO4_4^{4-}$  (CALLISTER, 2007)

Quimicamente, o silicato mais simples é o dióxido de silício ou sílica (SiO<sub>2</sub>). Esquematicamente, a sílica é uma estrutura tri dimensional que é gerada quando cada átomo de oxigênio presente nos vértices de cada tetraedro é dividido por tetraedros adjacentes. Desta forma o material é neutro eletricamente, e todos os átomos são estáveis eletronicamente. Sob estas circunstâncias a proporção de Si para O é 1:2.

Se estes tetraedros estão arranjados de maneira ordenada, uma estrutura cristalina é formada, que no caso da sílica são três formas primárias: quartzo, cristobalita e tridimita.

Estas estruturas são relativamente complexas e comparativamente abertas, o que significa que seus átomos estão relativamente afastados. Como conseqüência, estas formas de sílica cristalinas apresentam densidades relativamente baixas, como por exemplo, o quartzo com apenas 2.65g/cm<sup>3</sup>. A força da ligação entre os átomos de Si-O é refletida na sua alta temperatura de fusão de aproximadamente 1710°C. A figura 2.15 traz um exemplo de um arranjo de sílica cristalino.

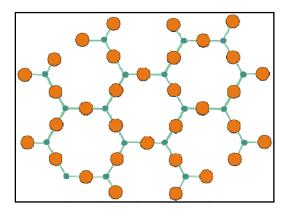


Figura 2.15 Arranjo cristalino de dióxido de sílica SiO<sub>2</sub> (CALLISTER, 2007)

Por outro lado os mesmos tetraedros podem estar arranjados de maneira não ordenada, como ocorre no caso dos vidros de sílica. Neste caso a sílica se manifesta como um sólido não cristalino ou vidro, apresentando um alto grau de arranjo atômico aleatório, o que é a característica de um líquido. Tal material é chamado de *sílica vítria*. Da mesma maneira do que ocorre com a sílica cristalina, o tetraedro de  $SO4_4^{4-}$  é a unidade básica, além desta estrutura uma desordem considerável existe (Figura 2.16).

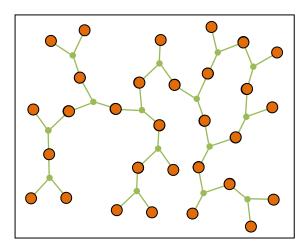


Figura 2.16. Arranjo amorfo de dióxido de sílica SiO<sub>2</sub> (CALLISTER, 2007)

Outros óxidos, como  $B_2O_3$  e  $GeO_2$ , podem também formar estruturas de vidro, estes óxidos assim como os óxidos de sílica, são chamados de formadores de estrutura (*network formers*).

Os vidros inorgânicos que são usados de maneira comum como containeres, janelas, vitrôs e assim por diante, são vidros de sílica aos quais foram adicionados outros óxidos como CaO , óxido de cálcio e  $Na_2O$ , óxido de sódio. Estes óxidos não formam estruturas poliédricas. Ao invés disso, seus cátions são incorporados e modificam a estrutura de  $SO4_4^{4-}$ ; por esta razão, estes óxidos aditivos são chamados de modificadores de estrutura (network modifiers). Outros óxidos como TiO2, óxido de titânio e  $Al_2O_3$ , oxido de alumínio ou alumina, enquanto que não formam estruturas, substituem o silício tornando parte e estabilizando a estrutura, sendo assim chamados de intermediários (intermediates). Da perspectiva de um ponto de vista prático, a adição destes modificadores e intermediários, diminui o ponto de fusão e a viscosidade do vidro final, o tornado fácil de ser formando em baixas temperaturas.

Estes mesmos processos estão presentes na formulação das porcelanas odontológicas.

Segundo Mclean (1979a), a formulação das porcelanas odontológicas é obtida por uma matriz de sílica, adicionada por óxidos, como óxidos de potássio, sódio, cálcio, alumínio e boro, que tem por função, baixar a temperatura de fusão, aumentar a viscosidade e aumentar a resistência a desvitrificação.

Os óxidos de potássio, sódio e cálcio são fluxos. Fluxo, no que diz respeito às porcelanas, é uma substância que promove a formação de uma fase vítrea, durante o tratamento térmico, "queima" do material (CALLISTER, 2007). Eles agem como modificadores da matriz de vidro, interrompendo a integridade da estrutura de SiO<sub>4</sub>. A proposta de um fluxo é a de principalmente abaixar a temperatura de fusão de um vidro, pela redução da quantidade das ligações cruzadas entre o oxigênio e os elementos formadores de vidro, no caso a sílica. O óxido de sódio (Na2O) é introduzido dentro da matriz de silício para produzir um vidro de silicato de sódio, provocando mudanças na estrutura do vidro de sílica. Os átomos de oxigênio ao invés de se ligarem para formar conexões entre os tetraedros de  $SO4_4^{4-}$  ligam-se com o sódio formando óxido de sódio. Espaços então começam a surgir entre os tetraedros de  $SO4_4^{4-}$ , sendo ocupados pelos íons de sódio. Quanto maior o número de íons de sódio, maior a quebra das ligações Si - O - Si. O que determina a intensidade deste processo é a proporção O:Si presente no sistema, repercutindo sobre a viscosidade e o coeficiente de expansão térmico linear do material. Para as porcelanas feldspáticas, o conteúdo de sódio é regulado para que o CETL do material se ajuste ao CETL da infra-estrutura metálica, ou cerâmica. Por outro lado uma maior quantidade de Na<sup>+2</sup> poderia ser prejudicial, desorganizando a matriz de sílica e, produzindo um vidro menos resistente, suscetível ao desgaste, solúvel em meio ácido. Quando a estrutura de sílica é rompida os espaços maiores são ocupados pelos íons de sódio e potássio e os menores pelos íons de lítio. Os óxidos são inseridos na matriz de vidro, via seus respectivos carbonatos, os quais revertem ao estado de óxidos durante o aquecimento.

Os óxidos de  $AL_2O_3$  são inseridos na matriz de sílica, agindo como óxido intermediário, com o objetivo de aumentar a resistência do material, aumentado sua viscosidade em baixas temperaturas de queima.

O óxido de Boro ( $B_2O_3$ ) é um fluxo, que ao mesmo tempo pode agir como formador de vidro. O óxido de Boro age junto com os óxidos de sódio e potássio, com um efeito sinérgico, na diminuição da temperatura de fusão e controlando o CETL. Os glazes cerâmicos apresentam o maior conteúdo de óxido de Boro.

Óxidos de lítio (LiO<sub>2</sub>), de magnésio (MgO) e de fósforo também são adicionados em pequenas quantidades. O óxido de lítio age como fluxo, para aumentar o fluxo piro plástico e facilitar a criação de fases cristalinas na cerâmica em comparação aos óxidos de K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O. O óxido de MgO pode ser usado para substituir o óxido de CaO.

Além de óxidos que, formam e modificam as estruturas das cerâmicas, outros óxidos têm a função de modificar as propriedades ópticas do material. Estes óxidos são adicionados as fritas, que são o produto final do vidro em pó, como agentes pigmentadores, opacificadores e fluorescentes.

Como pigmentos, os óxidos de cromo estanho e cromo alumina geram a cor Pink, dando um aspecto de cor "quente", vermelho rosado a restauração. Também contribuem para eliminação do esverdeado, que algumas cerâmicas com alto teor de Na<sub>2</sub>O podem apresentar. A pigmentação amarela é dada pelos elementos Índio, Vanádio, Zircônia e óxido de estanho, sendo o índio o mais estável. Sais de cobalto dão a pigmentação azul e são mais

utilizados para a confecção as cerâmicas do tipo esmalte. Óxido de cromo dá a pigmentação verde, mas como o esverdeamento é passível de ocorrer durante os processos de sinterização do material (principalmente quando ocorrem repetidas vezes), este pigmento só é utilizado em pequenas quantidades. Óxidos de ferro e platina são utilizados em esmaltes e dentinas (corpos) para dar um tom vermelho - amarelado e acinzentado e também produzir um efeito de translucidez.

O óxido de fósforo ou pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) é algumas vezes adicionado para induzir opalescência e também como óxido formador de vidro.

Óxidos de zircônia e de titânio são utilizados como agentes opacificadores, das porcelanas, em outras palavras, moduladores de translucidez. São, de maneira geral, utilizados com diâmetros menores que 500 nm, nas porcelanas e interferindo assim na propagação da luz em profundidade. Variações com particulado na faixa de 400 a 800 nm são aplicados nos pós de esmalte para modular o efeito opalescente, que é modulação da aparência do objeto , quando observado por reflexão (Cor azulada) e por transmissão (Cor amarelada), aproximando o material do comportamento "estético" do esmalte dental. A porcelana IPS dSIGN, utilizada neste trabalho, apresenta, segundo o fabricante, uma fase composta de flúor apatita com partículas de diâmetro aproximado de 0.25 a 0.30μm, que tem como um dos seus objetivos regular o efeito opalescente (IVOCLAR, 2003).

Óxidos de Cério, Samário (terra rara), e espinélio (composto de alumínio magnésio) são adicionados às fritas para gerar fluorescência, um comportamento óptico que se manifesta quando da exposição do material a comprimentos de onda do final do espectro UV. A energia absorvida por este elemento, nesta faixa espectral, é depois re-emitida, dentro do espectro azul-esverdeado, como ocorre com o esmalte e dentina humanos.

#### 2.5.2.1 precursores dos óxidos

Os principais componentes das argilas naturais são o oxigênio, silício e alumínio, formandos compostos chamados de aluminosilicatos. O precursor das argilas comuns é o Feldspato, um mineral achado na maior parte do mundo. Os Feldspatos são misturas de albita Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub> e microclínio K<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub> com quartzo livre. Estes feldspatos nunca são puros e a proporção de soda (Na<sub>2</sub>O) e carbonato de potássio (K<sub>2</sub>O) pode variar consideravelmente. Para as porcelanas odontológicas, um feldspato com maior teor de carbonato de potássio é preferível devido a sua maior resistência ao fluxo piro plástico. Os feldspatos desta classe possuem uma alta viscosidade, sendo que esta viscosidade diminui relativamente pouco com o aumento da temperatura. Quando o feldspato é fundido a aproximadamente 1250°C a 1300°C os álcalis (Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) se unem com a alumina e a sílica para formar alumino silicatos de sódio e potássio. Uma fase vítrea então é formada com uma fase cristalina de sílica livre (McLEAN, 1979a).

O feldspato é utilizado para fazer porcelanas odontológicas por mais de 200 anos e atualmente, são utilizados em maior quantidade na constituição da matriz de cerâmica (70-85% em massa), com 15% de quartzo, ao invés de ser utilizado apenas como fluxo como antigamente com quantidade de 15-25% em massa (KELLY, 1997).

Muitas das porcelanas odontológicas atuais são vidros de alumínio-silicato modificados por álcalis, processados a partir de feldspato e possuem uma pequena quantidade de matriz cristalina (SOUTHAN, 1975; LEHMAN; ISARD, 1969; O'BRIEN, 1989). Embora as partículas amorfas de alta temperatura de fusão sejam abundantes, o material cristalino é limitado a remanescentes minerais de feldspato e quartzo, adicionando aí

pigmentos e opacificadores, e algumas fases com pequenas quantidades formadas em alta temperatura de leucita.

Segundo Kelly (1997), a Leucita é o maior componente cristalino das porcelanas feldspáticas. Quando feldspato de potássio ( $K_2Al_2Si_6O_{16}$ ) é aquecido a aproximadamente 1150°C, o feldspato funde-se de maneira incongruente formando leucita e uma fase líquida. Depois de resfriado, um vidro contendo partículas de leucita é obtido. O papel da leucita tetragonal é o de aumentar e regular o CETL (Coeficiente de Expansão Térmico Linear) do material, o compatibilizando com o CETL da infra estrutura metálica ou cerâmica.

A leucita também contribui para a cimentação adesiva de peças cerâmicas. Os cristais de leucita são "atacados" mais rapidamente pelo ácido fluorídrico, em comparação ao vidro base do material, criando um padrão de condicionamento seletivo, que se repercute em uma superfície condicionada com uma quantidade alta de microretenções, por onde os cimentos resinosos penetram.

Recentemente, leucita tem sido adicionada em concentrações maiores (40-50% em massa) como uma fase de dispersão e reforço que atribui uma maior translucidez a porcelana, devido à proximidade dos índices de refração entre a leucita e os vidros de feldspato (PICHÉ et al., 1994)

### 2.5.3 classificação das porcelanas odontológicas

Existem na literatura vários métodos de classificação das cerâmicas, e todos são utilizados segundo a conveniência. Atualmente, devido ao crescente número de matérias e técnicas disponíveis a classificação estrutural tem sido bem divulgada.

Kelly (2004, 2008) descreve esta classificação em três classes:

Cerâmicas com estrutura predominantemente vítria, cerâmicas com estrutura vítrea e com partículas cristalinas, e cerâmicas policristalinas.

Dentro desta classificação o autor considera que de maneira geral, as cerâmicas que contêm maior teor de fase vítrea são mais estéticas e requerem um arcabouço ou subestrutura (metálica ou de cerâmica) ou base adesiva de fixação (cimentação adesiva), quando utilizadas "puras", sendo mais usadas como cerâmicas de cobertura. As cerâmicas com teor misto entre fase vítrea e conteúdo cristalino, e as cerâmicas policristalinas são mais utilizadas como subestrutura.

Uma breve descrição destas três classes é dada pelo autor:

Cerâmicas com alto conteúdo de fase vítrea: São as cerâmicas que melhor mimetizam as propriedades ópticas dos elementos dentais. Os fabricantes utilizam pequenas quantidades de particulado cristalino para controlar as propriedades mecânicas e principalmente as ópticas, tais como opalescência, cor e opacidade relativa. Este grupo compreende as porcelanas de cerâmicas de vidro de alumino silicato, grupo que abrange as porcelanas de cobertura ou feldspáticas. O autor também comenta que pequenas alterações na quantidade de partículas podem ocorrer, dependendo do fabricante. Estas porcelanas

são utilizadas como "Veneers" para subestrutura metálica, para metalo-cerâmcas ou cerâmica para coroas puras, facetas, onlays e inlays construídas sobre revestimento cerâmico refratário. As porcelanas Alpha VM 7 (Vita), MarK II (Vita) apresentam uma quantidade mínima de partículas, as porcelanas IPS d.SIGN (Ivoclar-Vivadent), VMK -95 (VIta), Super Porcelain EX-3 (Noritake), Ceramco 3 (Dentisply), Viantage Halo (Shofu), apresentam uma quantidade um pouco superior, constituída principalmente de leucita(≈17-25%) e partículas de vidro de alta fusão.

Cerâmicas com estrutura vítrea e particulado cristalino: São materiais onde os fabricantes adicionam partículas de carga a composição básica do vidro, com o objetivo de aumentar as propriedades mecânicas, tais como a resistência, o coeficiente de expansão térmico e o comportamento de contração do material. As cerâmicas Empress (Ivoclar) , OPC (Pentron) e Finesse All-Ceramic (Dentsply) são exemplos desta classe de cerâmicas com conteúdo de carga particulada de (≈40 a 50%). Este particulado é geralmente cristalino, como no caso da leucita, mas também podem ser partículas de vidro com alta temperatura de fusão, estáveis na temperatura de queima do material. Freqüentemente estas partículas são dissolvidas, durante o condicionamento químico do material feito por ácido fluorídrico promovendo retenção micro mecânica, para o procedimento de cimentação adesiva. Partículas e carga podem ser também adicionadas mecanicamente, durante a manufatura, em formato de pó ou por tratamentos especiais de nucleação e crescimento mediado por temperatura.

Neste último caso, tais materiais são chamados de vidro-cerâmicas. A família das cerâmicas que contêm altos teores de cristais de disilicato de lítio como a IPS e.max Press, a IPS e.max CAD e IPS Empress 2 (Ivoclar Vivadent, NY). São exemplos de vidro-cerâmica.

Outras cerâmicas como a In Ceram (Vita, Alemanha) que possuem composição de carga de Alumina (70%) e Zirconia (30%), é outro exemplo.

Cerâmicas policristalinas: São cerâmicas que não contém vidro. Todos os átomos são confinados em arranjos cristalinos regulares apresentando principalmente maior resistência mecânica. Por causa disso, estes materiais apresentam os maiores valores de resistência mecânica. Devido a sua constituição um aparelhamento sofisticado é necessário para a sua confecção, sendo que sem este auxílio, estruturas bem ajustadas e com formas complexas, são muito difíceis de obter. De maneira geral, o aparelhamento necessário para a confecção destes materiais, requer o uso de sistemas computadorizados em 3-D, com um conjunto de dados representando o dente preparado ou o modelo de cera da subestrutura desejável. Este modelo 3-D é utilizado para criar um modelo físico aumentado, sobre o qual o material em pó é aplicado, como no caso da cerâmica Procera (Nobel Biocare), ou onde o modelo físico é criado a partir da usinagem de um bloco cerâmico pré-existente, como no caso das cerâmicas Cercon (Dentsply), Lava (3M-Espe), e Y-Z (Vita). Estas abordagens baseiam-se em pós cerâmicos para os quais as contrações de queima possam ser preditas com alta previsibilidade.

As cerâmicas policristalinas tendem a ser relativamente opacas, quando comparadas as cerâmicas de fase vítrea, logo, estes materiais não podem ser utilizados para cobertura das próteses. Acabam por servir como subestruturas estéticas, sobre as quais as porcelanas de cobertura feldspáticas são aplicadas, com o objetivo de atingir as mesmas propriedades ópticas dos elementos dentais. Como subestruturas, estas cerâmicas, quando comparadas com as subestruturas metálicas, atingem de maneira geral, um resultado óptico mais

satisfatório, pois como os elementos dentais, possibilitam a transmissão de algumas quantidades de luz, ao passo que as estruturas metálicas são completamente opacas.

### 2.5.4 métodos de confecção das restaurações cerâmicas.

Segundo Griggs (2007) Os métodos de confecção das restaurações de cerâmica são diversificados. Variam parte de acordo com o sistema cerâmico, parte de acordo com a filosofia do fabricante, sendo que existem cerâmicas de mesma estrutura, confeccionadas de maneira diferente. O conhecimento das diferentes abordagens é importante, pois possibilita a aplicação de determinadas técnicas de confecção e também de influenciam no custo final da restauração. Segundo o autor os métodos de confecção e fabricação dividem-se em quatro modalidades: Condensação do pó cerâmico, "Slip Casting", Pressão a quente e Design assistido por computador/ fabricação assistida por computador (CAD-CAM).

Apesar de todos estes métodos serem importantes, iremos descrever aqui o método mais comum e tradicional utilizado para as porcelanas feldspáticas, o material utilizado neste trabalho experimental.

O método da condensação do pó cerâmico é o mais tradicional dos métodos e aplicado para a grande maioria das porcelanas feldspáticas.

Baseia-se na formação hidroplástica. O pó cerâmico é aglutinado ao líquido de manipulação ou "aglutinante" específico, formando uma massa de pó+liquido que é aplicada sobre uma superfície. Esta superfície é uma réplica anatômica de um preparo dental e pode ser constituída por uma subestrutura como, copping metálico, no caso das coroas de

metalo-cerâmicas, ou um copping cerâmico no caso das restaurações "all ceram" (Coroas sem metal), ou sem subestrutura, como ocorre nos modelos refratários, no caso das restaurações do tipo inlay, onlay e facetas. Neste estágio a massa formada é chamada de massa verde.

A massa é aplicada sobre a superfície conforme a necessidade e anatomia desejada através de um pincel. Após cada aplicação ou contorno, o conjunto copping ou refratário + massa aplicada, é submetido à vibração mecânica, cujo efeito é a remoção do excesso de líquido. Este processo de vibração é chamado de condensação. O excesso de líquido é removido por capilaridade, pela aplicação de um lenço de papel absorvente e as demais camadas são aplicadas, conforme a necessidade.

Mclean (1979a) e Preston (1988) explicam que durante o processo de aplicação do material, as partículas do pó permanecem aproximadas, por um fenômeno de tensão superficial. Após a condensação as partículas se aproximam ainda mais, tornando-se mais compactas.

Terminada a aplicação e removidos os excessos, a subestrutura é posicionada próxima a entrada da mufla do forno de cerâmica para a queima. Nos fornos atuais o copping ou revestimento é posicionado sobre uma bandeja refratária, e um programa de queima, inserido de acordo com as instruções de fabricante. Este programa é chamado de ciclo de queima e envolve algumas fases.

A primeira é a secagem, que é a remoção do excesso de líquido em temperatura constante, seguida pela sinterização do material, sob ação de vácuo e finalizando com resfriamento após sinterização. Estes programas automatizam o processo de queima, controlando precisamente os ciclos de tempo e temperatura.

Durante a secagem o excesso de líquido é removido, as partículas se aproximam, aumentando a densidade e a resistência da massa verde. Ao longo do progresso da secagem, o líquido aglutinante é removido, e o espaço entre as partículas diminui o que se traduz em contração. A quantidade de tempo, durante a secagem é importante, pois controla a taxa da eliminação de água/ contração do material. A secagem do interior da massa cerâmica é conseguida pela difusão das moléculas do líquido para a superfície externa do corpo cerâmico. As porcelanas atuais possuem uma variedade de líquidos, que facilitam esta evaporação, como por exemplo, diluições de butilenoglicol em meio aquoso (IVOCLAR, 2003).

Após a secagem, a mufla do forno se fecha, e a porcelana é submetida a queima. Inicia-se então, um processo o qual é chamado de vitrificação, que é a formação gradual de vidro líquido que fluirá através das fases cristalinas, preenchendo os poros. Durante esta fase, ocorre a sinterização e a microestrutura começa a se formar.

A sinterização é o início do processo de formação da microestrutura (CALLISTER, 2007). Durante o aumento da temperatura e mais a ação mecânica do vácuo, as partículas do pó começam a se tocar. A temperatura aumenta e as partículas de pó vão aumentando a área de contato, formando prolongamentos chamados de pescoço ao longo das regiões adjacentes entre as partículas. Adicionalmente um contorno de grão é formado dentro do limite de cada pescoço, e cada interstício entre as partículas torna-se um poro. Ao passo que o processo de sinterização aumenta, os poros vão se tornando cada vez menores e mais esféricos em formato.

A temperatura de queima atinge então o nível de fundição da fase vítrea e esta fase flui ao redor das partículas não fundidas (cristalinas) e preenche os poros por capilaridade.

Este processo também é acompanhando por contração, refletida em diminuição volumétrica e diminuição da porosidade. (DENRY, 1996; VAN NOORT, 2002).

O grau de vitrificação depende da temperatura de queima e do tempo de aplicação desta temperatura, assim como da composição do material cerâmico. A temperatura de queima é diminuída, regulada pela adição de agentes de fluxo, carreadores dos óxidos, como os feldspatos. O grau de vitrificação também controla as propriedades mecânicas e ópticas do material, na temperatura ambiente (CALLISTER, 2007).

Como citado acima, o preenchimento dos poros tornou-se mais eficiente com o advento do forno cerâmico com câmara de vácuo acoplada. O vácuo foi introduzido em 1958 (CLAUS; RAUTER, 1989; McLEAN, 1979a, 2001) e propiciou a produção de uma cerâmica mais estética, com maior transmissão de luz, e com menos porosidade, devido a ação do vácuo de comprimir a massa aquecida, expulsando o ar e forçando a penetração da fase de vidro fundida. Além disso, a maior eficiência na compactação dos pós cerâmicos possibilitou uma formação de corpos cerâmicos com um pó multiparticulado, com partículas de diâmetros diferentes, gerando corpos ainda mais densos e resistentes.

Após a queima, a cerâmica é resfriada, e a fase fundida forma uma matriz vítrea, resultando em um corpo denso e resistente. A microestrutura resultante consiste então numa fase vitrificada, partículas de quartzo e leucita e alguma porosidade, adicionando aí fases de pigmentos e opacificadores.

O número de ciclos de queima depende da complexidade da restauração e do número de camadas que a restauração necessita. Normalmente para uma cora ou um elemento, um total médio de 4 queimas é suficiente. Todas as restaurações são confeccionadas em camadas, camadas estas que variam de acordo com a translucidez /

opacidade, no sentido do material mais opaco ou menos translúcidos para o material menos opaco ou mais translúcido (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999). De maneira geral a necessidade da queima é guiada pela complexidade da escultura, espessura e tipo de pó adicionado a camada, pois pode haver alguma modificação no ciclo de queima para cada tipo de pó.

Terminada a restauração, ele recebe um tratamento de superfície. Segundo Kelly (2007), existe três opções para o tratamento de superfície. A primeira seria aplicação de uma cerâmica de baixa viscosidade, chamada de glaze, e a posterior queima do material sem aplicação do vácuo. Este tratamento visa o selamento da restauração, tornando-a mais resistente ao meio, e menos rugosa. A segunda, o chamado "Auto – Glaze", ou seja, apenas submeter o material a um ciclo de queima final, sem a adição de nenhum material. O terceiro método, segundo o autor, aponta a tendência atual, que é o método de polimento da superfície, através de uma seqüência de pontas e discos de silicone abrasivo, em granulação decrescente. Segundo Agra (2004) este método apresenta resultados estéticos melhores que o glazeamento, além de permitir uma melhor caracterização da restauração, aproximando-se da textura do esmalte natural.

A seguir iremos descrever de maneira breve e geral, algumas variáveis envolvidas na construção das restaurações cerâmicas feldspáticas.

2.5.5 espessura e fixação das restaurações cerâmicas.

Como visto nesta seção as porcelanas odontológicas, por serem materiais friáveis, necessitam ser fixadas em arcabouços metálicos (STEAGALL, 1972) ou cerâmicos (McLEAN, 2001) ou diretamente cimentadas sobre a estrutura dental, esmalte e ou dentina (SPEAR; HOLLOWAY, 2008). Quando a subestrutura é utilizada, sua espessura média é de 0.3mm para as metálicas (MCLEAN, 1979b) e de aproximadamente 0.5mm para as cerâmicas (DONOVAN, 2008).

Outro ponto importante é que dependendo da situação escolhida, a estratégia de confecção e espessura da restauração pode variar.

2.5.5.1 porcelanas aplicadas sobre subestruturas.

As porcelanas feldspáticas apresentam uma coleção de pós cerâmicos, dividida em função da translucidez (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999). Se ordenados de maneira crescente, seriam: Opacos, Corpo Opaco, Corpo, Incisal e Translúcido.

Os opacos são porcelanas com a maior quantidade de opacificadores e menor quantidade de fase vítria. Devem ser utilizadas em pequenas espessuras, aproximadamente 0.2 a 0.3mm, constituem a primeira camada de aplicação e tem o objetivo de cobrir a subestrutura metálica, ou cerâmica, provendo um fundo de reflexão para a restauração. Esta cobertura é mais crítica no caso dos metais, pois os coppings cerâmicos podem, quando

translúcidos, lançar mão também da cor do cimento resinoso, para gerar um fundo de reflexão.

Após os opacos, os corpos (dentina) são aplicados. Os corpos são porcelanas saturadas, porém mais translúcidas que os opacos (McLEAN, 1979b). Tem por objetivo a construção básica da conformação da restauração, dar "profundidade" e translucidez, gerando uma transição de opacidade para o opaco além de efeitos de opalescência. Sua espessura gira em tono de 0.8mm. Recentemente uma nova opção para os corpos chamada de Corpo Opaco ("Body Opaque" ou "Deep Dentin") foi lançada no mercado (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999). O Corpo Opaco tem o objetivo de melhor ajustar a translucidez do corpo, e por causa disso é indicado para os casos onde há falta de espaço disponível para a construção de uma restauração que, nos casos das porcelanas aplicadas sobre uma subestrutura, é de aproximadamente 1.5mm para as paredes axiais e 2.00m de desgaste oclusal/ incisal. (SHILLINBURG, 1991, DONAVAN, 2008). A espessura de corpo opaco aplicada, quando necessário é de aproximadamente 0.4mm e conseqüentemente 0.4mm de corpo.

Após a aplicação do corpo, a camada de incisal é aplicada. A camada de incisal tem por objetivo gerar os efeitos de opalescência e translucidez. É constituída basicamente de matriz vítrea com alguns traços de partículas. A espessura pode variar em torno de 0.1 a 0.4mm, dependendo do efeito desejável e da necessidade. Pode ser complementada, também pela aplicação do translúcido, que apesar do nome, é uma cerâmica basicamente transparente constituída quase que somente por fase vítria.

Os fabricantes deixam claro que estas espessuras, são apenas sugestões, ficando a cargo do ceramista e da situação, a determinação da melhor estratégia (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999).

Quando finalizadas, as restaurações construídas sobre metal são todas cimentadas no elemento dental com cimentos de presa química, e as construídas sobre estrutura cerâmica, de maneira geral também o são.

## 2.5.5.2 porcelanas cimentadas adesivamente.

O advento da possibilidade da cimentação adesiva e direta das porcelanas sobre o substrato dental foi o maior avanço na área das cerâmicas odontológicas no século XX (McLEAN, 2001).

Neste contexto as porcelanas feldspáticas, por apresentarem melhores propriedades ópticas, são muito utilizadas nesta modalidade (KELLY, 2008).

A possibilidade da colagem direta destas restaurações iniciou-se com na indústria do entretenimento entre 1930 e 1940, para que os atores pudessem mudar a aparência dos dentes durante os espetáculos (GARBER; GOLDSTEIN; FEINMAN, 1988).

A técnica do condicionamento ácido para adesão da resina ao esmalte foi introduzida por Buonocore em 1955, e serviu de base para a utilização da porcelana de maneira adesiva. A colagem da resina na estrutura de cerâmica foi conseguida a partir do uso do ácido fluorídrico de 5 a 10% tamponado como agente condicionante e do silano como agente

bifuncional de união entre a porcelana e a resina (cimento). Logo a adesão da porcelana a estrutura dental pode ser obtida, pela colagem da porcelana a uma camada intermediária de uma resina, no caso o cimento e a colagem deste cimento a estrutura dental, através do condicionamento desta estrutura com ácido fosfórico (CALAMIA, 1985; GARBER; GOLDSTEIN; FEINMAN, 1988; BARGHI; FISCHER; VATANI, 2006).

Esta possibilidade da adesão da cerâmica, e sem a necessidade de subestrutura, possibilitou o uso de cimentos passíveis de fotoativação. Atualmente este recurso gerou dois tipos de materiais: os Fotoativados e os de ativação dupla ou dual (Fotativados + autoativados) (CALAMIA; CALAMIA, 2007). Além disso, as restaurações poderiam ser muito mais conservadoras, com menor desgaste, do tecido dental, podendo ser também parciais, ou seja, localizadas em porções específicas do elemento dental (SPEAR; HOLLOWAY, 2008).

As vantagens de uma cimentação ativa por luz são muitas e dentre elas as mais importantes são, a melhor estética do cimento foto ativado, melhor estabilidade de cor pela ausência de aminas terciárias (presentes no catalisador químico), melhor remoção de excessos, e melhor controle e previsibilidade sobre o tempo de trabalho (TANGO, 2006).

A estratégia da utilização de um cimento somente foto ativado, Dual (Foto + Auto ativado) ou até de presa química (auto ativado), depende da espessura e da cor da cerâmica. Os cimentos duais e químicos apresentam como grande vantagem a utilização em situações de difícil acesso de energia, ao passo que podem apresentar desvantagens, como alteração de cor, devido à presença de concentração do catalisador químico (PEGORARO et.al., 2007).

Como todas as resinas, a qualidade da fotoativação é importante, pois sua ineficiência gera transtornos, tais como, sorção e solubilidade do material, aumento de volume do cimento, deslocamento e infiltração de coroa, sensibilidade pós operatória e

cárie secundária (GOOD et al., 2009). Além disso, por serem resinas compostas os cimentos também estão sujeitos a mudanças de cor nas primeiras 72horas (GARBER, GOLDSTEIN; FEINMAN, 1998) e de absorverem pigmentação proveniente do meio e da dieta (KARAAGACLIOGLU; YILMAZ, 2008).

O cimento fotativado ou dual apresenta como foto iniciador, a molécula de canforoquinona, que possui faixa de absorção de energia na faixa de comprimento de onda de aproximadamente de 410-500nm, com pico em 470nm (COOK, 1982). Os aparelhos de foto ativação disponíveis no mercado, atuam dentro desta faixa espectral, sendo os portadores de lâmpada halôgena os mais utilizados, com faixa de atuação mais ampla de aproximadamente 400-500nm (NOMOTO, 1997; GARÔFALO, 2002). Para a foto ativação ser eficiente é necessário uma densidade de energia (mW/cm²), capaz de atravessar a espessura do material e ainda ativar de maneira efetiva o cimento (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999; FAN et. al., 2002), que pode possuir espessuras variando em média de 80 a 160μm, além das diferentes composições e proporções de matriz x carga e opacidade (DAVIS, 1988; SCHERRER et al., 1988; GODD et al., 2009). A porcelana neste caso funcionaria como um atenuador da passagem da luz, espalhando e absorvendo os comprimentos de onda (WATTS; CASH, 1994). Todos estes parâmetros devem ser equacionados, pois determinam a longevidade da adesão e conseqüentemente da restauração (CALAMIA; CALAMIA, 2007).

Spear e Holloway (2008) de maneira simples resumem algumas situações clínicas, onde estas variáveis atuam sobre estes materiais (Tabela 2.2)

Tabela 2.2 – Descrição geral das variáveis envolvidas no planejamento de uma restauração adesiva de porcelana sem subestrutura (Modificado de SPEAR; HOLLOWAY, 2008)

Variável	Cobertura Parcial,	Cobertura parcial	Cobertura total†, Esmalte + dentina,	Cobertura Total, com dentina
	apenas em	esmalte e	sem	alterada
	esmalte	dentina	manchamento	cromaticamente
Quantidade de desgaste	Mínimo (0.3 a 0.5mm) apenas em esmalte	Aproximadamante	Preparo	
		1.0mm, não	Circunferencial	Circunferencial de
		envolve a porção	com	1.2 a 1.4mm
	esmaite	lingual	aproximadamente 1mm	
Margem gengival	Supragengival	Supragengival ou	Supragengival ou	Subgengival
		subgengival	subgengival	
Cerâmicas utilizadas	Cerâmicas	Cerâmicas	Cerâmicas	Cerâmicas
	translúcidas e	translúcidas	translúcidas e	translúcidas
	incisais	incisais	opacas*	incisais, opacas*
Cimentação	Fotoativado	Fotoativado	Fotoativados ou dual	Fotoativadas, dual ou química

<sup>\*</sup> Cerâmicas opacas neste caso, são corpo e corpo opaco.

## 2.6 Revisão das propriedades ópticas na literatura odontológica

## 2.6.1 – revisão direcionada a atenuação da luz para fins de foto ativação

Os primeiro trabalhos sobre propagação da luz para fins de fototativação apareceram na literatura por volta do início dos anos 80.

Os fatores que afetam a profundidade de polimerização dos compósitos foram estudados por Cook (1980). Neste trabalho o autor mediu a profundidade de polimerização de 06 resinas compostas fotopolimerizáveis por radiação UV com dimensões de 0.4cm (4mm) de diâmetro por 0.8cm (8mm) de espessura, através dos métodos da raspagem e da microdureza Knoop. O autor aponta que a microdureza Knoop dos compósitos testados indicou que o grau de polimerização abaixo da superfície irradiada era razoavelmente

<sup>†</sup> Cobertura total = preparo do tipo coroa (circunferencial)

constante até uma determinada profundidade, onde decaia acentuadamente. O grau de polimerização foi dependente do tipo do material, da fonte ativadora, e do tempo de exposição, de maneira que um maior tempo de exposição resultava num maior grau de polimerização. O autor ainda afirma que grande parte da atenuação da luz ocorre parte por absorção, devido à concentração do fotoiniciador e a pigmentos do material e parte devido ao espalhamento, por causa da diferença do índice de refração entre a fase orgânica e as partículas de carga das resinas

Kawaguchi, Fukushima e Miyazaki (1994) estudaram a relação entre o grau de polimerização e os coeficientes de transmissão das resinas compostas fotoativadas por luz visível. Para tanto os autores utilizaram 08 diferentes tipos de resinas fotopolimerizáveis com diferentes tipos de carga, Microfil (compósito "Silux"), Híbridas (compósitos "Clearfil Photo Posterior", "Photo Clearfil A", "P-50", "Opalux" e "Occlusion") e partículas pequenas ("Palfique Light" e "Pasfique Estelite").

O grau de polimerização foi avaliado pelo método da raspagem, de acordo com a norma ISO 4049. Os corpos de prova (n=5) foram confeccionados pela inserção das resinas em moldes metálicos com 4mm de diâmetro e 10mm de altura. A base do cilindro foi fechada com um disco de Teflon opaco e a superfície fotoativada por 30 segundos, através de uma tira de poliéster transparente com 50µm de espessura. O cilindro de resina foi retirado do molde após a foto ativação e o material fotoativado foi gentilmente removido com o auxílio de uma espátula de plástico. Depois a espessura do cilindro foi medida com um micrômetro.

Os coeficientes de transmissão foram obtidos através da Lei de Beer-Lambert através de novos corpos de prova com 15mm de diâmetro e 1.0mm de espessura (n=3). Os discos

foram preparados em moldes metálicos com as mesmas dimensões e fotoativados através de tiras de poliéster por 90 segundos. Após a fotoativação os discos foram retirados do molde, posicionados sobre o detector de um radiômetro, com sensibilidade para medir um intervalo de comprimento de onda de aproximadamente 418-518nm. A unidade de fotoativação foi posicionada em contato, sobre a superfície do disco e a radiação transmitida medida pelo radiômetro.

Os resultados mostraram que os coeficientes de transmissão variaram de 0.263 a 0.042 e foram dependentes da cor do material, de maneira que o material mais claro apresentou o maior valor de transmissão, com exceção da resina P-50. As variáveis grau de polimerização e coeficiente de transmissão apresentaram correlação positiva, significante e linear, com valores de R<sup>2</sup> de 0.9 em média para todos os materiais. Os resultados também mostraram que as resinas microfil apresentaram os menores valores de grau de polimerização de coeficiente de transmissão devido à interferência do diâmetro da carga com o comprimento de onda incidente, causando espalhamento. Para uma faixa espectral de 418-518nm, a interferência máxima seria com cargas de 0.25µm ou 250nm. Segundo o autor este fenômeno ocorre devido ao espalhamento do tipo Rayleigh, onde o efeito é máximo quando o diâmetro da carga apresenta um valor de " $\lambda/2$ ", onde " $\lambda$ " seria o comprimento incidente. As resinas microfil apresentavam carga com diâmetro de aproximadamente 0.04μm ou 40 nm, mas eram observadas formando clusters com diâmetros que interferiam com a propagação da luz. Por fim o autor comenta que, com o aumento do diâmetro das partículas e o fato de alguns sistemas apresentarem partículas pré-polimerizadas, com índices de refração semelhante à matriz, as variáveis estudadas voltavam a aumentar.

Fan et al. (2002), realizaram um trabalho para testar a norma ISO 4049 (technical specification 10650), no que diz respeito e intensidade da luz e profundidade de polimerização das resinas odontológicas. Para tanto os autores utilizaram uma unidade fotoativadora cuja emissão era de 300 mW/cm<sup>2</sup>, dentro do intervalo de comprimento de onda de 400-515nm, para fotoativar 21 compósitos (n=5), distribuídos em diferentes marcas e cores. Eles avaliaram a profundidade de polimerização através do teste da raspagem de acordo com a norma ISO 4049, sendo que segundo esta norma, a profundidade de polimerização era representada por 50 % da espessura do corpo de prova, após a raspagem, realizada pós foto ativação. Os resultados mostraram que 62% dos 21 compósitos, atingiram as condições da ISO, apresentando uma espessura convertida de 1.5mm. Seis materiais dos oito restantes só atingiram esta condição, quando os autores dobraram o tempo de irradiação recomendado pelo fabricante. Os autores concluem afirmando que a intensidade escolhida, parece fotoativar a maioria dos materiais dispostos comercialmente, quando os tempos de exposição apropriados são utilizados. Eles reforçam dizendo que este comportamento não se verifica em todos os casos, sendo que correções devem ser feitas, como por exemplo, o aumento do tempo de exposição. Eles finalizam, afirmando que o profissional deve testar todos os seus compósitos, periodicamente, assim como seus equipamentos para confirmar suas performances e que o método recomendado pela ISO seria eficiente para tal teste.

A habilidade da propagação de energia para fotoativação dos materiais resinosos também foi investigada, para os casos, onde barreiras físicas estão presentes.

Chan e Boyer (1989) determinaram os tempos de exposição necessários para fotoativar cimentos resinosos, através de discos de porcelana com várias espessuras. Foram

sinterizados 06 espécimes de porcelana (8 x 8mm) nas espessuras (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0mm) para cor B2 (clara) e C4 (escura). Estes discos serviram como barreira para fotoativar resinas compostas (5 mm de diâmetro por 2 mm de espessura)(n=10), usando 183mW/cm2, densidade de energia e com 20, 40, 80 e 120 seg de tempo de exposição para cada espessura e cor de porcelana. Após 30 minutos e 24 horas de fotoativação as resinas foram submetidas o teste superficial de microdureza Barcol. Os resultados mostraram um perfil curvilíneo, de maneira geral, sendo que os valores de microdureza diminuíram com um comportamento aproximadamente linear, com o aumento da espessura da barreira até um determinado valor, onde decaia abruptamente formando um comportamento exponencial. Este resultado variou em função da cor e da espessura da barreira e também do tempo de exposição. Para a porcelana C2, mais escura, com coeficiente de transmissão (obtido pela Lei de Beer), de 23,2% (470nm), esta queda era mais acentuada e, já acontecia em espessuras menores, ao passo que para a cerâmica B2, com coeficiente de transmissão de 43.8%, a queda se dava em espessuras maiores, mas também variava com o tempo de exposição. Para todos os casos envolvidos, os valores de microdureza avaliados 24hrs, pós ativação foram maiores que os valores obtidos depois de 30minutos. Os autores também derivaram uma relação para predizer o tempo de exposição necessário para atingir uma microdureza "ótima" através de uma barreira, no caso as porcelanas, sendo:  $t=t_0T_c^{-\ell/2}$ , onde t $_0$  seria o tempo de exposição necessário para fotoativar a resina sem barreira, t o tempo de exposição para a fotoativação através da barreira, T<sub>c</sub> o coeficiente de transmissão e ℓ a espessura da barreira. Para cor C2, o tempo de exposição aumentava rapidamente em relação à cor B2, gerando uma curva acentuada e um "slope" maior, indicando que esta este material uma pequena mudança na espessura, gerava um grande aumento no tempo de exposição. A porcelana B-2, mais translúcida, o perfil resultante também era curvilíneo, porem menos acentuado, "slope" menor, o significava que o mesmo aumento da espessura (em relação a C2), resultava num menor aumento do tempo de exposição.

Linden et al. (1991) estudaram a fotoativação de cimentos resinosos através de veneers de porcelana em função da opacidade da cerâmica, do catalisador do cimento e do tempo de exposição. Os autores fabricaram 03 discos de cerâmica feldspática Ceramco II cor A1. Os espécimes foram manipulados com uma proporção de cerâmica de "+opaca" Ceramco II A1 com a Cerâmica "+translúcida" Ceramco IIG cor A1. Os autores afirmam que a necessidade da utilização de cerâmicas mais opacas se justifica pelo fato das restaurações fregüentemente mascararem fundos manchados. As proporções de mistura foram 100% de porcelana opaca para veneers, 75% de porcelana opaca com 25% de porcelana translúcida e 50% de porcelana opaca com 50% de porcelana translúcida, todos os pós na cor A1. Os discos foram sinterizados em moldes refratários e, resultaram espécimes com 16 mm de diâmetro e 0.75mm de espessura, sendo posteriormente submetidos a uma següência de polimento em ambas as superfícies (#240, #400 e #600). A espessura final foi de 0.70mm. Os cimentos utilizados foram: Porcelite (Kerr/Syborn) com 67% de carga híbrida, fotoativado; Porcelite com catalisador (Dual); Heliolink (Ivoclar -Vivadent) com 40% de carga microfil, fotoativado e Heliolink com catalisador (Dual).

Os discos de cerâmica serviram como barreiras para fotoativação de cimentos inseridos (n=5) em matrizes de "plexiglass" de 0.75mm de espessura por 5mm de diâmetro. Um disco de dentina humana foi utilizado como fundo de reflexão. Os cimentos foram fotoativados por 30, 60, 90, e 120 seg. O mesmo conjunto de cimentos foi depois fotoativado diretamente (sem barreira) por 5 minutos, e serviram para obter os valores máximos de microdureza Knoop.

Os discos de cerâmicos foram avaliados por transmitância total (TT), (375 a 500nm), sendo escolhido o comprimento de 470nm, para se verificar a % de transmissão de luz, e pela microdureza Knoop superficial dos cimentos, avaliadas 30 minutos e 24 horas após a fotoativação.

Os resultados mostraram que a transmitância foi similar para os três discos, sendo o disco "opaco" com os menores valores (48,2%TT). Os fatores Tempo de fotoativação, tipo de ativação do cimento, tipo de cimento e tempo de medição foram significantes. Os autores concluem que os cimentos fotoativados só atingiram valores satisfatórios de microdureza, com tempos de fotoativação de aproximadamente 90seg, e que os duais, também só atingiram valores satisfatórios com tempos que variaram de 30seg até 60seg, tempos estes maiores do que os recomendados pelos fabricantes. De maneira geral, os cimentos também representaram aumento nos valores de microdureza depois de 24 horas, sendo este comportamento mais patente para os cimentos duais, e também para os maiores tempos de exposição. Os autores finalizam afirmando a presença de um catalisador químico auxilia significativamente, no grau de conversão dos cimentos, mas sua presença é problemática podendo causar descoloração, além disso, a composição do material, em função da % de carga, influenciava muito na atenuação da luz.

Cardash et al. (1993) estudaram o efeito da cor da porcelana sobre a microdureza dos cimentos resinosos dual e fotoativados. Os autores confeccionaram discos de porcelana Vita, com 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, nas cores A1, A4, B1, B4,C1, C4, D2 e D4, cores estas correspondentes aos extremos das subdivisões ( do menos saturado → mais saturado) da escala Vita. Os discos serviram como barreira para fotativação dos cimentos resinosos Mirage foto e dual, cor A4 (5mm de diâmetro por 1 mm de espessura)(n=2), nos

tempos de 48, 72 e 120 segundos . Outros corpos de prova dos mesmos cimentos foram novamente fotoativados, através de lâminas de vidro, ao invés das porcelanas. Os espécimes foram armazenados a 37°C por 24 horas e depois foram avaliados pelo teste de microdureza Knoop nas superfícies irradiadas. Os resultados mostraram que os 3 fatores : Tipo de cimento, cor de porcelana e tempo de exposição foram significantes, assim como todas as interações. Os autores apontam que: Na espessura de 2mm a cor afetou significativamente a microdureza do cimento, sendo que as comparações só foram lineares, ou seja o corpo mais saturado atenuando mais energia que o não saturado, dentro das subdivisões da escala Vita e não entre elas. Maiores valores de microdureza só foram alcançados pelo cimento dual, devido à complementação da polimerização pelo ativador químico, mas sempre que exposto a um determinado tempo de exposição, no caso 48 segundos, sendo que a partir deste ponto não houve aumento significante. Os valores de microdureza do cimento foto por outro lado dependeram somente do tempo de ativação, sendo que os maiores valores de microdureza só foram atingidos nos maiores tempos de exposição, mesmo assim estes valores foram menores que os valores de microdureza do cimento dual. Por fim os autores concluem que sempre que uma espessura de 2 mm ou mais de porcelana fosse utilizada, o cimento dual, deveria ser escolhido.

Jung et al. (2001) avaliaram a eficiência de diferentes métodos de polimerização através de restaurações de porcelana. Foram confeccionados 36 discos da cerâmica Empress 2, cor 300, com 4mm de diâmetro e 2 mm de diâmetro. Os discos serviram como barreiras para a fotoativação de corpos de prova confeccionados a partir do cimento Variolink II, nos modo foto e dual. As fontes ativadoras utilizadas foram a halôgena convencional

(800mW/cm²) (400-500nm) nos modos "soft start<sup>4</sup>" e convencional por 40seg e Arco de plasma (1700mW/cm²) (430-500nm) por 10 seg. Foi avaliada a microdureza das bases dos cimentos localizadas a 1.00 e 0.50 mm da linha de cimentação (n=6). Os resultados mostraram que o uso do catalisador (dual) promoveu maiores valores de microdureza, independentemente do método de fotoativação. O método de ativação por arco de plasma produziu valores de microdureza menores, em relação à luz halôgena em ambos os modos. Quando o catalisador não era utilizado (foto) o método convencional gerava valores maiores em relação ao "soft start" e arco de plasma, sendo que para este último o tempo de exposição deveria ser aumentado.

Odont, Driscoll e von Fraunhoufer (2001) testaram o efeito da fonte de luz e do tipo de cerâmica na microdureza de um cimento resinoso. Foram fabricados 01 disco (10mm de diâmetro por 1mm de espessura), para cada cerâmica : Ceramco II (feldspática), Viradur Alpha (feldspática com alto teor de alumina) e Empress (Vidro cerâmica com alto teor de leucita), cor A2. Estes discos serviram de barreira para fotoativação do cimento Variolink II (8mm de diâmetro x 1mm de espessura) cor universal, no modo foto, através de 03 fontes de luz : Halógena convencional (Optlux − 800mW/cm²) , nos tempos de 20, 40, 60 e 80 seg.) e as fontes halôgenas de alta potência (Kreativ − 1000 mW/cm²) e arco de plasma (Apollo 95E ≈1500 mW/cm²), nos tempos de 5, 10, 15 e 20seg. Para cada ensaio uma tira de matriz de poliéster foi colocada entre o disco e o cimento para impedir a adesão. As superfícies dos discos tiveram sua microdureza Knoop analisada. Os resultados mostraram que os valores de microdureza variaram de acordo com o tempo de exposição, a fonte de ativação e a cerâmica utilizada. No caso da cerâmica Ceramco II a fonte Kreativ mostrou ser necessário

4

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Condição na qual a densidade de energia fornecida pelo aparelho inicia-se em 100 mW/cm<sup>2</sup> e aumenta exponencialmente durante 15 seg. até a potência máxima, no caso 800 mW/cm<sup>2</sup>.

20 segundos de ativação, a Apollo 95E, 15 segundos e Optilux 60 segundos. Para a cerâmica Vitadur Alpha, a fonte Kreativ mostrou ser necessário 15 seg, a fonte Apollo95E de 15 a 20 seg e Optilx de 60 a 80 seg. Por fim para a cerâmica Empress a fonte Kreativ só mostrou resultados satisfatórios com 20 seg, a fonte Apollo 95E a partir de 15 seg e Optilux com 80 seg. Os autores concluem que as fontes de alta potência , fotoativam o cimento em um tempo consideravelmente menor, por volta de 15 segundos em relação a fonte convencional, que necessita de pelo menos 60 segundos. Em ambos os casos, todos os tempos de exposição foram maiores que os recomendados pelos fabricantes das unidades e do cimento.

Rosetto et al. (2004) avaliaram a transmissão de luz através de vários materiais cerâmicos. Os autores utilizaram 03 fontes de luz , halôgena convencional (3M unitek – 660 a 710 mw/cm<sup>2</sup>), halôgena de alta potência (Kreativ2000 – 1050 a 1080mw/cm<sup>2</sup>) e arco de plasma (Apollo 95E – 2475 a 2500mw/cm²), 1 cerâmica de infraestrutura (Procera) em 03 espessuras, 0.25, 0.40 e 0.60mm por 10mm de diâmetro e 03 cerâmicas, Ceramco II, Vitadur Alpha e Empress (1 mm de espessura por 10mm de diâmetro) (n=2). A transmissão de luz foi medida, utilizando os materiais como barreira, sendo que a radiação transmitida pelas diferentes unidades foi registrada por um radiômetro, sendo utilizado o maior e o menor valor de energia, durante um tempo de irradiação de 10seg. O trabalho foi dividido em 02 fases. Para registro da densidade de energia foi considerado o valor mínimo de 280 a 300 mW/cm<sup>2</sup> como baseline (FRIEDMAN, 1998; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999; JUNG et al., 2001). Para a primeira fase foi aferida a energia transmitida pelos coppings de Procera e para segunda foram comparadas as energias transmitidas pelos discos de cerâmica e dos discos de Procera, adicionados da cerâmica de cobertura, do próprio fabricante até a espessura de 1 mm. Os resultados da fase I

mostraram que para todas as unidades houve um decréscimo considerável da energia em função da espessura do copping. Levando em consideração o baseline, o arco de plasma registrava valores de 593±132 mW/cm<sup>2</sup> a 0.60mm (redução de 76%)<sup>5</sup>, a fonte de alta potência 345±74 mW/cm<sup>2</sup> a 0.40mm e 256±79 mW/cm<sup>2</sup> a 0.60 (redução de 76%) e a fonte convencional, já apresentou valores menores a partir de 0.25mm, com valores de 180±113 mW/cm² a 0.60mm (redução de 72%). Para a fase II os resultados mostraram que quando o copping era utilizado como infraestrutura, somado a cerâmica de cobertura, somente a unidade de arco de plasma registrava valores significantes, sendo de 340±62 mW/cm² (redução de 86%), com a combinação de 0.60mm de copping + 0.40mm de cobertura. Em relação às cerâmicas sem subestrutura somente as fontes arco de plasma e halôgena de alta potência registraram valores acima do baseline, mas bem atenuados, em relação aos iniciais. Para as porcelanas feldspáticas a 1 mm, os resultados foram 590±113 (redução de 76.4%) para o arco de plasma, 335±50 (redução de 68%) para a fonte de alta intensidade e 230±35 (redução 67%). Os autores concluem dizendo que todas as densidades de energia foram sensivelmente atenuadas pelas barreiras, e que a fonte halôgena convencional não gerou energia suficiente (em relação ao baseline) para fotoativar um cimento resinoso.

Piva (2004) avaliou o efeito da atenuação da luz, através de radiômetro, emitida através de 03 unidades fotativadoras através de um disco de porcelana feldspática (Duceram Gold A3) com 8 mm de diâmetro e 2mm de espessura. Os valores de cada unidade foram obtidos a partir de 10 medidas consecutivas. O autor mostrou que a energia registrada após irradiação pelo disco de cerâmica era: Para a unidade halôgenea (400 – 500nm) (XL 2500 – 589.2±12.14 mW/cm²) atenuação de 97.5% (15 mW/cm²), a unidade LED (460 – 480nm) (DMC – 613.8±9.39 mW/cm²) atenuação de 96.6% (21 mW/cm²) e a unidade de arco de

\_

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Calculado utilizando-se o menor valor inicial.

plasma (430 – 500nm) (Apollo 95E – 1656,1±32.03 mW/cm²) atenuação de 95% (83 mW/cm²).

Borges et al. (2008) estudaram a influência de diferentes cerâmicas e diferentes modos de ativação na microdureza de um cimento resinoso. Corpos de prova (5.0mm de diâmetro por 1 mm de espessura) (n=3) de um cimento resinoso Rely X foram ativados de 03 formas: fotoativados diretamente sobre a superfície, ativado quimicamente sem exposição de luz e, através de barreiras cerâmicas (todas com 8mm de diâmetro e na cor A3) e espessura de: Duceram Plus, feldspática (1.2mm), Cergogold feldspática (1.2 mm), IPS Empress cerâmica com alto teor de leucita (1.2 mm), IPS Empress 2 cerâmica de lítiodissilicato (0.5mm + 0.7mm de cerâmica Eris – feldspática de cobertura), Procera cerâmica com alto teor de leucita (0.5mm + 0.7mm de cerâmica All ceram – feldspática de cobertura), In Ceram Alumina (0.5mm + 0.7mm de cerâmica VM-7 feldspática de cobertura) e Cercon (0.4mm + 0.8 mm de Cercon Ceram S Feldspática de cobertura). Todas as fotoativações foram feitas através de uma unidade de fotoativação halôgena de 650 mW/cm<sup>2</sup> por 40 seg. Os valores de microdureza Knoop dos cimentos foram avaliados a 100µm da superfície irradiada imediatamente após a ativação e 24 horas após. Os resultados mostraram que os valores de microdureza foram afetados pelos diferentes materiais e tempos e modos de ativação. Todas as cerâmicas afetaram negativamente a ativação dos cimentos no modo dual. As cerâmicas com alto teor de alumina e a de zircônia atenuaram mais luz em relação às cerâmicas baseadas em sílica. Os valores de microdureza aumentaram após 24 hrs, exceto no caso onde a fotoativação foi direta (dual, sem barreira). Os modos de ativação química e fotoativados através das cerâmicas apresentaram valores de microdureza menores que a ativação direta em ambos os tempos. Quando os modos sem barreira foram comparados, o método dual (direto) obteve valores maiores que o modo de ativação química (sem luz).

A questão da atenuação ou propagação da luz no comprimento de onda para fins de fotoativação foi muito pouco estudada do ponto de vista óptico.

Watts e Cash (1994) estudaram a transmissão de luz no comprimento de 400 a 500nm através de várias espessuras de alguns materiais estéticos (cerâmicas, resinas compostas e cimentos de ionômeros de vidro) e dentina humana em espessuras variadas de 0.2 a 5.0mm. Para tanto luz, no comprimento de onda de 400-500nm foi incidida em 90° (incidência normal) sobre a superfície dos materiais acima citados, através de uma unidade de luz halôgena, e o sinal de transmitância coletado e integrado. Os dados foram convertidos em valores de absorbância e plotados em função das espessuras, utilizando-se a Lei de Beer-Lambert. Os autores afirmaram que a relação linear entre absorção e espessura só foi observada após a correção da Lei de Beer em função da reflexão de luz observada na superfície dos materiais. Esta correção foi convertida em um "fator de correção" que correlacionou linearmente o logaritmo do fator de reflexão com a absorbância aparente do material. O fator de correção variou de 30% a 90% entre os diferentes materiais em função da taxa de reflexão observada que flutuou de 60 a 75%. Os autores afirmam que esta taxa de "perda de energia" por reflexão revela a alta ineficiência de transmissão da luz visível através das barreiras (constituídas pelos materiais), com objetivo de fotoativação, levando em consideração a tecnologia atual. Os autores concluem dizendo que mais estudos que levem em consideração a perda de luz por reflexão e a utilização de métodos que aumentem o "contato-óptico" entre a ponta ativadora do aparelho e a superfície do material devem auxiliar no desenvolvimento de aparelhos e técnicas mais eficientes para estes propósitos. Além disso, a utilização de materiais do tipo dual deve ser sempre considerada.

Rogéli et al., (2007) estudaram a transmissão luz através de porcelanas feldspáticas. Foram utilizados 128 discos de porcelana Duceram em quatro espessuras (1.5; 2.0; 3.0; 4.0mm x 10mm de diâmetro) e oito cores (A1; A4; B1; B4; C1; C4; D2; D4) e duas fontes halôgenas de luz (Optilux , modelo 401 e 403). A energia transmitida foi registrada por um "power-meter". Após a sinterização os discos foram polidos em uma das faces até Lixa #80 para ajuste da espessura, glazeados e depois uma das faces condicionadas com ácido fluorídrico a 10% por 4 minutos. Foram confeccionadas máscaras para impedir a passagem de luz pelas bordas do material, já que a ponta ativadora possuía um diâmetro maior que o diâmetro interno do disco. As medições iniciaram-se 10 minutos após do acionamento da unidade para estabilização do filamento da lâmpada. Foram realizadas três medições repetidas da luz incidente e transmitida pelas amostras.

Os autores analisaram os dados através de Lei de Beer-Lambert, utilizando o fator de correção descrito por Watts e Cash (1994). Os resultados mostraram que, de maneira geral, levando em consideração as espessuras extremas (1.5 a 4.0mm), as porcentagens de energia transmitida foram: A1-8.79% a 1.87%; A4-2.52% a 0.09; B1-7.06% a 1.52%; B4-3.52% a 0.26%; C1-7.66% a 1.62%; C4-2.34% a 0.02%; D2-8.08 a 2.05% e D4-5.65 a 0.76%. Os dados foram plotados em um gráfico de dispersão (Transmitância x Espessura), sendo que os valores de transmissão em relação à espessura diminuíram exponencialmente.

Para a maioria das cores, houve uma significativa diminuição da porcentagem de luz transmitida em função do aumento da espessura. Com o aumento da espessura, houve também o aumento da não significância entre as cores, o que indicava que a atenuação estava mais associada à espessura do que a cor do material. Os autores por fim afirmaram que existe uma divergência grande na literatura a respeito dos dados obtidos, divergência

esta que, ocorre devido a diferentes metodologias e, que a obtenção e interpretação acurada dos dados só são possíveis corrigindo-se a Lei de Beer-Lambert.

Santos et al. (2008) estudaram a transmissão de luz nas resinas compostas. Os objetivos dos autores foram investigar a influência da espessura (0.15; 0.25; 0.3; 0.36; 0.47 e 0.75mm), do tipo de carga (híbrida e nanoparticulada) e do comprimento de onda na transmissão no grau de penetração da luz ("1/e"). Os autores exemplificaram o grau de penetração de luz na seguinte maneira: Se a intensidade do feixe incidente é de 600 mW/cm<sup>2</sup> e o coeficiente de penetração<sup>6</sup> de luz de resina híbrida é de 0.15mm e da nano híbrida é 0.09mm, a luz ao chegar a esta profundidade de onda é atenuada em 1/e ou 37% do seu valor inicial, ou seja, reduzido para 221 mW/cm<sup>2</sup>. A faixa espectral do ensaio de transmitância foi de 400 a 800 nm, e medida em um expectrofotômetro UV - VIS. Os materiais também foram avaliados em relação às variáveis acima na condição não polimerizada e polimerizada. Os resultados mostraram que existe dependência entre a transmitância e comprimento de onda, e entre a condição não polimerizada e polimerizada para os dois materiais. A resina micro híbrida obteve menores valores de transmitância nos menores comprimentos de onda e maiores valores nos maiores comprimento de onda em relação à resina nano particulada. O grau de penetração de luz foi, para ambas as resinas foi de 0.16mm para híbrida e 0.14mm para a nano híbrida após a fotoativação, sendo maior atenuação da luz na condição não polimerizada. A espessura também atenuou a transmissão de luz, de maneira que quanto maior a espessura menor a transmissão. Em relação à diferença do grau de penetração da luz em função da condição de polimerização, os autores

-

 $<sup>^{6}</sup>$  O coeficiente de penetração ("α") de luz para um determinado comprimento de onda é obtido pelo "fitting" ou ajuste da curva obtida na relação entre o coeficiente de transmissão e as diferentes espessuras. A relação obtida é exponencial do tipo  $I = I_0 e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)}$ , sendo "I" a intensidade transmitida, "I<sub>0</sub>" a intensidade incidente, "e" o número neperiano (≈2.71) e "t" a espessura.

explicam que o maior grau de concentração do fotativador, aumenta a atenuação de luz (por absorção), no início do espectro, além da mudança do comportamento óptico do material devido à estruturação ordenada das moléculas maiores na pós polimerização mudando, o índice de refração. O diâmetro diferente das cargas entre os dois materiais, também atenuou o transmissão de luz por ação do espalhamento, que segundo os autores é do tipo Rayleigh, onde o tamanho médio das partículas de carga exerce um efeito crucial na transmissão de luz, com atuação máxima, quando o diâmetro da partícula (carga) é semelhante a ½ do comprimento de onda incidente.

2.6.2 – revisão direcionada a propagação da luz no comprimento de onda de 410 a 700nm.

Os primeiros estudos sobre as propriedades ópticas das porcelanas dentais começaram no final da década de 70. Brodbelt, O'Brien e Fan (1980), 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 deferentes. 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 total 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.

Miyagawa e Powers (1983) utilizaram a teoria KM para predizer o comportamento estético de resinas compostas. Discos de uma resinas microparticulada (Sillar) com 38mm de diâmetro e com espessuras de 1, 1.5, e 2.00 mm foram confeccionados (n=3). As refletâncias para a espessura de 1mm foram obtidas para os fundos branco, preto e para um fundo experimental amarelo, fundo utilizado para simular uma base restauradora ou dentina humana. As curvas de reflexão sob o fundo amarelo também foram obtidas para as espessuras de 1.5 e 2.0mm. Estas curvas obtidas (sobre fundo amarelo) por medição direta foram chamadas de reflexão "observada". Os parâmetros de leitura foram: intervalo de comprimento de onda de 405 – 700nm, com passo de 5nm. As refletâncias foram obtidas através de um espectrofotômetro UV-VIS com esfera integradora e depois convertidas em tri - estímulo CIEXYZ de 1931, sendo estes chamados de tri-estímulos "observados" (fundo amarelo). Os valores da refletância obtidos em fundos brancos e pretos na espessura de 1mm foram utilizados para o cálculo das propriedades ópticas K ,S ,R∞ e X∞, e para a obtenção do espectro de reflexão "predito" para o fundo amarelo pela equação de refletância KM. Utilizando-se esta mesma equação os espectros "preditos" sobre fundo amarelo foram obtidos para as espessuras de 1.5 e 2.0mm, e consegüentemente os triestímulos "preditos" também. Os resultados, obtidos a partir da espessura de 1mm, mostraram que os valores de S e K diminuíram com o aumento do comprimento de onda, entretanto este comportamento foi mais acentuado para K em relação a S. A espessura óptica infinita (X∞) aumentou com o aumento do comprimento de onda assim como a refletividade (R∞). Os espectros "preditos" e "observados" sobre o fundo amarelo, para cada espessura, coincidiram de tal maneira que a diferenças entre os dois não foram significantes. As comparações foram feitas através dos coeficientes de refletância (observados e preditos) obtidos a cada 50nm, utilizando-se o teste "t de Welch". Os valores de tri-estímulo "preditos" e "observados" também não foram diferentes entre si. Os autores afirmaram que a cor final do material translúcido foi influenciada mais pelos comprimentos de onda do final do espectro, sendo que quando observado sobre um fundo branco, o material apresentava uma cor mais avermelhada e "clara", e que este efeito era mais dominante para o fundo branco em relação ao preto. Segundo os autores é o efeito que se observa quando o material é aplicado sobre um cimento ou base branca. Por fim os autores concluem que a teoria KM predisse com acurácia o comportamento óptico do material em diferentes fundos e espessuras, podendo gerar uma previsão segura do seu desempenho óptico em diferentes situações clínicas.

Woosley, Johnston e O'Brien (1984) estudaram o poder de mascaramento das porcelanas opacas. Foram confeccionados cilindros de cerâmica de 10mm de diâmetro e 4mm de altura, de 05 marcas comerciais, cada uma com 05 cores. Os pós dos opacos foram misturados com pó de glaze em duas proporções, com 10 e 20% de glaze. Esta proporção foi utilizada devido à necessidade de se obter finas espessuras dos materiais, os quais eram excessivamente frágeis nesta condição. Para cada diluição a temperatura de sinterização foi ajustada utilizando-se a temperatura normal de cada pó mais a porcentagem (10 ou 20%) da

diferença entre a temperatura de queima do glaze e do pó em questão. Os cilindros sinterizados foram incluídos em resina acrílica e seccionados, e as secções polidas. As curvas de reflexão foram obtidas em um espectrofotômetro UV-VIS, no intervalo de comprimento de onda de 410-700nm. Os discos foram lidos sobre fundo branco e preto em contato óptico feito por utilização de óleo de imersão com índice de refração "n" igual a 1.5. Os espectros de reflexão foram então utilizados para calcular a espessura óptica infinita (X∞), através da teoria KM. Os espectros foram corrigidos através da correção de Saunderson e pela teoria de Mudgett & Richards. Os espetros corrigidos foram então utilizados para a obtenção de X∞. Os resultados mostraram que todos os valores de X∞ foram bem maiores que os valores da espessura de opaco utilizado nas coroas de metalo-cerâmicas, variando de 2.31 até 8.40mm. Houve diferença entre as cores e as marcas comerciais dos opacos, de maneira que o melhor mascaramento (menor X∞) foi obtido pelas cores mais escuras. Segundo os autores os opacos cerâmicos são materiais que contêm até 15% de óxidos metálicos na sua composição, e que o tipo de óxido, também influenciava na eficiência do mascaramento, de forma que os que continham maior proporção de óxido de estanho e menor de óxido de titânio eram mais eficientes. Por fim os autores concluem dizendo que apesar dos opacos estarem misturados com glaze, os resultados, desta maneira, qualitativos, foram extrapolados e indicaram que a espessura utilizada nos coppings metálicos não era eficiente para mascarar o fundo.

O'Brien, Johnston e Fanian (1985), estudaram o efeito das camadas de cerâmica na cor dos sistemas cerâmicos. Foram confeccionados cilindros cerâmicos de pó do tipo corpo, cor neutra (Ceramco), sinterizados e seccionados nas espessuras de 1, 1.5 e 2.0mm. Os discos foram submetidos a polimento de superfície e tiveram suas reflexões aferidas em um espectrofotômetro UV-VIS com esfera de integração acoplada no intervalo de comprimento

de onda de 410-700nm. Os discos (1mm) foram lidos em contato óptico com os fundos branco e preto e por mais 05 fundos opacos cromáticos cerâmicos nas cores branco, amarelo, pink, cinza e azul (1mm, 1.5mm e 2.0mm).

As curvas de reflexão de todas as amostras nos 05 fundos cromáticos foram utilizadas para se obter as curvas de reflexão "observadas" e os valores colorimétricos CIEL\*a\*b\* "observados". As curvas de reflexão obtidas (em contato óptico) nos fundos branco e preto das amostras de 1.0mm foram corrigidas pela teoria de Saunderson e utilizadas para se obter os parâmetros ópticos através da teoria KM(S, K, R∞ e X∞), para predição do comportamento óptico das curvas de reflexão e os valores colorimétricos do material "preditos" nas espessuras de 1.5 e 2.0mm. Os resultados mostraram que a teoria KM predisse, a partir das informações obtidas na espessura de 1mm, os valores colorimétricos, nas demais espessuras e fundos cromáticos, assim como o comportamento das curvas de reflexão. As curvas de espalhamento (S) e absorção (K) diminuíram com o comprimento de onda e por este material ser neutro (cinza) este efeito foi mais acentuado para o espalhamento. Quanto aos valores colorimétricos, os autores afirmaram que enquanto num material em espessura infinita a cor é independente de qualquer fundo, os efeitos da cor, com o aumento da espessura variam de acordo com a cor do fundo, espessura da camada e as propriedades ópticas do material. O material de corpo quando translúcido funcionaria como um filtro, transmitindo luz do meio para a camada de opaco e refletindo parte desta luz novamente para o meio, sendo que suas propriedades ópticas K e S modulariam tal transmissão. Os resultados também mostraram que as curvas de reflexão obtidas em todos dos fundos experimentais convergiu, com o aumento da espessura, invariavelmente para a refletividade, de maneira não linear. Os autores comentaram que a espessura óptica infinita do material foi de 6 mm aproximadamente, muito maior que a espessura "protética" de

1mm. Sendo assim o fundo influenciaria muito o comportamento estético da restauração. Os autores concluem que a aplicação da teoria KM, é muito importante para o entendimento da relativa atenuação que o material exerce na reflexão e na transmissão de luz, e que esta atenuação não é linear, como a maioria dos dentistas e protéticos acredita ser, sendo um dos maiores motivos do "pobre" desempenho estético de muitas restaurações.

Cook e McAree (1985) estudaram comparativamente as propriedades ópticas dos materiais estéticos e dos tecidos duros dentais, através de teoria KM. Foram utilizados diferentes resinas compostas, porcelanas e esmalte e destina humanos em mono e bicamadas com diferentes espessuras. Quando as bi-camadas foram utilizadas, os materiais do tipo esmalte foram aplicados sobre os materiais do tipo dentina, e no caso dos tecidos dentais, secções de dentes que continham esmalte sobre dentina foram obtidas. As curvas de reflexão foram obtidas por meio de um espectrofotômetro com esfera de integração acoplada no intervalo de comprimento de onda de 380-770nm com passo de 10nm. As curvas de reflexão foram corrigidas pela teoria de Saunderson, e os coeficientes S e K obtidos pela teoria KM, para cada fundo experimental (branco e preto) e material experimental, ambos em contato óptico. Os coeficientes calculados serviram para predizer as curvas de reflexão, os parâmetros colorimétricos (X, Y e Z) e também a relação de contraste para todos os materiais. Os resultados mostram que as curvas de S e K diminuíram com o comprimento de ondas, sendo este comportamento mais marcante para K, de maneira que, com o aumento do comprimento de onda houve uma diminuição da atenuação. Os autores afirmaram que a teoria KM via os coeficientes S e K foi capaz de predizer precisamente os espectros de reflexão, a cor e o contraste de diferentes materiais em diferentes espessuras e fundos. Os autores também afirmaram que esta técnica seria

valiosa para a manufatura de materiais que tem por objetivo a mimetização da dentição natural, aproximando os coeficientes K e S destes materiais com os mesmos coeficientes observados no tecido humano.

Johnston, O'Brien e Tien (1986) estudaram a influência dos métodos de correção da reflexão para a determinação das propriedades ópticas e na predição dos espectros de refletância das porcelanas translúcidas. Como variáveis foram utilizadas a correção ou não dos espectros, a utilização ou não de contato óptico entre a porcelana e o fundo (com contato = óleo de imersão, n=1.5 e sem contato ="ar" n=1.00). Foram utilizados 0.3 fundos experimentais, branco, preto e cone zero<sup>7</sup>. Os ensaios de refletância foram feitos em um espectrofotômetro UV- ViS com esfera de integração no intervalo de 410-700nm com intervalos de 10nm. Os autores obtiveram as propriedades ópticas K, S e as curvas de reflexão preditas de duas porcelanas de efeito, na cor azul e amarela, nas espessuras de 0.4, 0.6mm e 4.5mm, variando as condições acima. Foram comparados os espectros de reflexão observados e preditos nas diferentes condições, através do teste de regressão não linear. O quadrado médio dos erros dos modelos de regressão foi menor quando o contato óptico foi utilizado e os espectros corrigidos, sendo que, quando estas condições não eram utilizadas os erros eram maiores, o que resultava em coeficientes de espalhamento e absorção muito, grandes. Desta maneira os autores concluíram que o contato óptico e a correção dos espectros são necessários e, geram uma maior acuracidade de predição do comportamento óptico da porcelana.

Jacobs et al. (1987) estudaram o efeito da espessura e cor da porcelana e do tipo de liga metálica na cor das metalo-cerâmicas.

-

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Cone zero é também conhecido com "Zero Cone" ou "Zero Calibration Box", é a situação onde não há fundo de reflexão, sendo que toda energia transmitida pela amostra, passa para o meio e não retorna. Com efeito, a reflexão deste "fundo" é zero.

Fora utilizadas 03 cores da cerâmica de corpo VMK68 (B1, A3 e C4) com 3 espessuras (0.5, 1.0 e 1.5mm) e 3 ligas metálicas (ouro-platina, níquel-cromo e liga com alto teor de platina) (n=9). Os discos de metal foram fundidos, a partir de elementos vazados em cera de 0.5mm, com formato de retangular (2.3 x 1.7mm). Sobre a superfície dos metais foram aplicadas camadas de opaco cerâmicos na cor correspondente a dos corpos, com espessuras de 0.12mm em média. Os pós de corpo foram adicionados e sinterizados, nas espessuras acima, glazeados e lidos em duas condições, por meio de um espectrofotômetro e visual por meio de observadores (15). Os resultados mostraram que ambas as análises, espectrofotométrica e visual geraram resultados similares. O tipo de liga metálica produziu pequenas diferenças de matiz, quando as cores B1 e C4 eram utilizadas. Entretanto em relação à cor A3, estas diferenças foram significantes na comparação das ligas de níquelcromo e de alto teor de platina com a liga de ouro-platina. Não houve diferenças significantes em relação ao Valor e a Cromaticidade. Diferenças tanto espectrofotométricas como visuais também foram detectadas em relação à espessura da cerâmica de corpo. As cores A3 e C4 foram mais afetadas que a cor B1. Com as cores A3 e C4 diferenças entre as espessuras de corpo de 0.5, 1.0 e 1.5mm eram grandes, porém para a cor B1 a diferença entre 0.5 e 1.0mm era aceitável e acima disso não perceptível. Os autores creditaram este comportamento à proximidade de cor entre o opaco B1 e o corpo B1, sendo assim uma restauração aceitável para esta cor, poderia ser alcançada com uma espessura de corpo menor em relação às outras duas cores.

Rosenstiel e Johnston (1988) estudaram os efeitos de diferentes variáveis de manipulação na cor das porcelanas odontológicas.

As variáveis estudadas foram, o efeito de 3 temperaturas diferentes de queima (recomendada, 30% abaixo e 30% acima), o efeito de 3 diferentes técnicas de condensação (recomendada, "sobre condensada" e "sub condensada"), e o efeito de 4 líquidos de manipulação (Água destilada, "Sta-wet", "Carv-eze" e "Vita modeling liquid"), na diferença de cor entre diferentes marcas de mesma cor e na diferença de cor entre diferentes marcas com diferentes cores.

Os resultados mostraram que as restaurações feitas com diferentes marcas, mas com a mesma cor, mostraram valores de diferença de cor significantes e perceptíveis ( $\Delta E > 3.3$ ). As diferenças de cor observadas pelo efeito do líquido de manipulação não foram significantes e aceitáveis variando de 0.5 a 1.1  $\Delta E$ . Os efeitos da condensação e da temperatura foram baixos, variando de 0.7 a 1.1  $\Delta E$  e 0.3 a 0.4  $\Delta E$ , respectivamente.

O'Keefe, Pease e Herrin (1991) estudaram algumas variáveis que afetavam a transmissão de luz através das porcelanas odontológicas. Como variáveis os autores utilizaram diferentes espessuras (1.0 , 0.75 e 0.5mm) e 3 opacidades (100%, 75% e 25%), num total de 45 amostras (n=5). A mesma porcelana (Ceramco II B2) foi utilizada para todas as amostras, sendo que a opacidade foi ajustada, misturando-se manualmente proporções da porcelana de corpo com um pó modificador de opacidade, também da mesma marca e cor. Para todos os discos a manipulação, o ciclo de queima e o glazeamanto seguiram as recomendações do fabricante. Os discos foram avaliados pelo ensaio de transmitância total, por meio de um setup experimental contendo uma fonte de luz, uma lâmpada de 150W de tungstênio, o porta amostra com a amostra posicionada e alinhada com a lâmpada , um espelho refletor, orientado em 45° e um espectro radiômetro para detecção do sinal refletido pelo espelho. O sinal de transmitância foi obtido pela relação entre o sinal emitido

pela lâmpada pela amostra (L'λ) e pelo sinal puro, sem a amostra (L"λ), sendo L'λ/ L"λ. O intervalo de comprimento de onda utilizado foi de 430 a 600 nm em intervalos de 10nm. Os resultados mostraram que os valores de transmissão aumentaram com o comprimento de onda em todas as situações e que diminuíram mais em função da espessura do que em função da opacidade, apesar de ambos os fatores serem significantes. Os autores comentam que como os pós foram manipulados manualmente as proporções poderiam ser imprecisas e gerar dados com dispersão alta, o que gerou a não significância entre algumas proporções, principalmente nas menores espessuras. Por outro lado a opacidade poderia estar mais relacionada com a transmissão difusa, e como neste experimento a transmissão total (difusa + colimada) foi testada, o resultado obtido suprimiu o efeito da opacidade para as espessuras mais finas.

Davis, Johnston e Saba (1994) demonstraram a habilidade da teoria KM na predição dos parâmetros de cor das porcelanas odontológicas sobre vários fundos, através do uso de colorímetros. O objetivo foi o de medir a acurácia da teoria KM em predizer os tri-estimulos (X, Y e Z) das porcelanas utilizadas (Ceramco – Translúcida, A1 e D3) sobre fundos cromáticos. Além disso, foram variadas as condições das correções interfaciais (correção de Saunderson) sendo: sem correção, com correção utilizando-se o coeficiente  $K_2^8$  de acordo com a teoria de Richmond e com correção, utilizando-se o coeficiente  $K_2$  de acordo com a teoria de Mudgett & Richards. Foram confeccionados numa primeira fase, corpos de prova com 16 mm de diâmetro com espessuras de 0.5 e 1.0mm para todos os tipos de cerâmica. Os discos foram fabricados de acordo com as especificações do fabricante e glazeados. Os valores de tri-estímulo das amostras em contato óptico sobre fundos pretos e brancos foram

5

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> K<sub>2</sub> = coeficiente de reflexão interna do material difusor de luz, que é utilizado na correção de Saunderson. Como disposto no capítulo de materiais e métodos.

registrados através de um colorímetro de grande área (11 mm) (Minolta Cr200b). Os valores de espalhamento e absorção foram então calculados para cada tri-estímulo, variando-se os tipos de correção acima citados e armazenados. Após esta fase, discos adicionais em ambas as espessuras foram fabricados e cimentados sobre substratos cromáticos. Para tanto foram utilizados 03 cimentos resinosos (translúcido, "claro" universal e "escuro") e dois fundos cromáticos com 16mm de diâmetro e 5mm de espessura confeccionados de resina acrílica nas cores B69 "claro" e B82 "escuro". Adicionalmente uma lâmina de vidro foi cimentada para cada combinação cimento/substrato para a obtenção da informação colorimétrica desta interação, sem a influência da porcelana. Desta maneira cinco combinações de porcelanas/cimento/substrato mais uma, com a lâmina de vidro foram obtidas. As informações de tri-estímulo para cada combinação foram captadas através do colorímetro e foram denominadas de tri - estimulo "observado". Os coeficientes de espalhamento e absorção obtidos na primeira fase, onde apenas as porcelanas foram lidas nos fundos branco e preto, foram então utilizados para a predição da reflexão para cada combinação porcelana/cimento/substrato, em função dos tipos de correção, obtendo assim os valores de tri-estímulo "preditos". Os resultados mostraram que o método de correção, utilizando o coeficiente K<sub>2</sub> da teoria de Richmond foi mais acurado em relação aos outros dois métodos. Os valores de tri-estímulo "observados" e "preditos" utilizando esta correção foram inseridos em um gráfico de dispersão, ficando alinhados em uma reta, passando pela origem, o que significou em alto grau de acuracidade com valores de  $R^2$  = 0.93. Os autores concluem que a teoria KM predisse o comportamento estético das porcelanas utilizadas em diferentes espessuras, cimentos e fundos, por meio de tri-estímulos. Este resultado fornece um método simples, valioso e direto para a predição do desempenho de materiais estéticos na prática da clínica diária, com o auxílio dos colorímetros e espectrofotômetros orais

Douglas e Przybylska (1999) estudaram a influência da camada de cerâmica de corpo necessária para predizer o comportamento estético da restauração cerâmica. Tiveram como objetivos a predição da espessura de cerâmica de corpo necessária para obter uma diferença de cor mínima, aceitável clinicamente, para 5 sistemas cerâmicos, sendo 3 sistemas "allceram" (Empress, Inceram-Alumina e Inceram Spinell) e 2 sistemas de metalo-cerâmica (Vintage e VMK-95), 3 cores (A1, A3.5 e C2), fabricados em 04 espessuras (1.0,1.2,1.5 e 2.0mm). Os corpos de prova de Empress, foram construídos a partir de moldes de cera que foram posteriormente inclusos em revestimento, com 18mm de diâmetro e 2.5mm de espessura. Os corpos de prova de Inceram-Alumina e Inceram Spinell foram fabricados em duas etapas, sendo a primeira a confecção da infra estrutura com 0.5mm de espessura e depois a sinterização da cerâmica de corpo para as espessuras desejadas. Para as cerâmicas de metalo-cerâmica, os pós opacos de cada marca e cor foram aplicados sobre discos de ouro platina e sinterizados para uma espessura média de 0.3mm. Logo após, a cerâmica de corpo foi adicionada, gerando as espessuras desejadas. Os corpos de prova foram polidos em uma seqüência de lixas de #140 / #320 e #400, todos terminados com 2mm de espessura. A partir daí foram avaliados colorimetricamante por um colorímetro, sendo obtidos assim os valores colorimétricos L\*a\*b\*, sob o iluminante D65 e observador a 2°. Após cada leitura os espécimes eram lixados para novas espessuras subseqüentes, por meio de uma lixa #100, re polidos e re avaliados, até a espessura final. As informações colorimétricas da escala Vita e da escala Vintage 3M, em relação às cores utilizadas nas restaurações também foram captadas e utilizadas como base de comparação. Para as cerâmicas all-ceram 03 discos adicionais de Empress, nas cores st1, st5 e st9 foram fabricados para prover fundos de reflexão.

Foram calculadas as diferenças de cor ΔE, entre as restaurações e as respectivas escalas de cor. Todas as restaurações foram comparadas com a escala Vita, em diferentes espessuras, com exceção da cerâmica Vintage, que foi comparada com sua própria escala. Quando os sistemas all-ceram foram avaliados, os fundos de reflexão foram utilizados, devido à translucidez destes materiais. Este fundos de reflexão simularam a estrutura dental. Para cada situação experimental testada, foi considerado o valor de ΔΕ <3, aceitável clinicamente.

Os dados foram plotados em função da diferença de cor e da espessura para todas as cerâmicas e regressões lineares obtidas. Os resultados mostraram que para todas as cores e cerâmicas, houve, de maneira geral um decréscimo nos valores de diferença de cor em relação às espessuras com algumas exceções. A cerâmica Empress apresentou comportamento linear para todas as cores e o sistema Inceram -Spinel comportamento linear para as cores A1 e C2. Os autores comentam, que para uma espessura de 1.0 mm de corpo, a redução de estrutura dental giraria em torno de 1.5mm, visto aí adicionar o copping e as cerâmicas incisais. Logo eles concluem que espessuras eficientes entre 1.0mm e 1.5mm seriam limites, pois só seriam possíveis em preparos em pelo menos 2.0mm de redução de tecido dental e que, além disso, riscos como exposição pulpar poderiam ocorrer. De todos os materiais testados somente o sistema Inceram Spinell se mostrou eficiente para as três cores dentro do limite de 1.0mm. As cerâmicas para metalo-cerâmicas estiveram no limite de 1.5mm para a cor A1 e acima de 2.0mm para as cores A3 e C2. O sistema Empress só mostrou eficiência em torno de 1.0mm para as cores A1 e A3, e acima de 2.0mm para a cor C2. O sistema Inceram Alumina, mostrou valores médios de 1.6mm para as cores A1 e A3 e maiores que 2.0mm para a cor C2. Os autores afirmaram que para a maioria dos sistemas utilizados a espessura da camada de corpo foi incapaz de mascarar o fundo dentro de uma

espessura clínica. Eles comentaram, que como resultado, o técnico em prótese dental é obrigado a aplicar recursos como pigmentação externa para mascarar a translucidez, e que muitas das vezes as coroas acabam por vir do laboratório com "sobrecontorno" ou excesso, situação esta que se não observada pelo clínico, pode levar a problemas periodontais sérios. Quanto aos parâmetros colorimétricos, a coordenada que mais influenciou na diferença de cor foi a luminosidade L\* (70%), seguida pela coordenada b\* (29%) e a\* com apenas (1%). Os autores ainda comentam, que além da espessura indicada de 1.0mm para a cerâmica de corpo não ser eficiente, o seu aumento para além deste valor não contribuiu para diminuir a diferença de cor em muitos dos casos.

Heffernan et al. (2002) estudaram a translucidez relativa de seis sistemas all-ceram, envolvendo materiais de cobertura (feldspáticos) e infra estruturas cerâmicas.

Foram utilizados 05 subestruturas cerâmicas, Empress, Empress2, In-Ceram alumina, In-ceram Spinell, In-ceram Zircônia e Procera All Ceram. Todos os "copping" foram confeccionados segundo as instruções dos fabricantes com espessuras de 0.5mm em média, e adicionando suas respectivas cerâmicas de cobertura até uma espessura final de 1.5mm. Foram confeccionados também corpos de Vitadur Alpha , cerâmica de cobertura com alto teor de Alumina de 1.5mm (corpo) e dois controles, um positivo, um disco de vidro de 2.0mm e um negativo, formado por uma disco metálico para metalo-cerâmica onde foram aplicados opaco e uma camada da cerâmica Vita Omega 900 até a espessura de 1.5mm. Todos os materiais tinham a cor A2. Os corpos de prova foram polidos com discos de lixa abrasivos #120, #240 e #400 sob refrigeração e depois suas superfícies foram jateadas com esferas de óxido de alumínio de 50μm de diâmetro. Este procedimento visou à uniformização da superfície. Foram então submetidos à leitura da reflexão em

espectrofotômetro, sobre fundos branco e preto, sendo para cada fundo, foi obtido o tri estímulo Y (D65 e 2°), sendo Y<sub>b</sub> para o fundo branco e Y<sub>p</sub> para o fundo preto. Desta maneira para cada amostra obteve-se a relação de contraste (CR), sendo:  $CR_{0 o 1} = rac{Y_p}{Y_h}$ . Os corpos de prova foram avaliados 2 vezes, após o jateamaneto e após um tratamento de glaze. Os resultados mostraram que: vidro (0.27) < Vitadur (0.73) < Empress (0.78) = In-Ceram Spinell (0.78) = Empress 2 (0.78) < Procera All-Ceram (0.83) < In-Ceram Alumina (0.91) < In-Ceram Zirconia (1.00) = Metalo Cerâmica (1.00). Os autores comentaram que o glaze obteve resultados estatisticamente significantes, diminuindo o contraste, mas que as diferenças pontuais eram muito pequenas, na ordem de ±0.02, o que visualmente poderia não ser significante. Eles atribuíram esta diferença a textura de superfície, já que o ensaio foi de reflexão, mas não comentaram nada sobre a geometria de leitura e as propriedades ópticas. Os resultados também mostraram que o clínico deve estar atento ao fato do fundo, que pode influenciar na cor final da restauração. Esta atenção deve-se estender até nos casos da escolha do agente cimentante, visto que existem materiais que permitem a passagem de luz e outros que são completamente opacos, como por exemplo, o In-Ceram Zirconia, que obteve a mesma opacidade da metalo-cerâmcia. Os autores atribuiram a opacidade à diferença dos índices de refração. Os materiais Empress (leucita), n=1.51 ; Empress 2 (di silicato de lítio + leucita) (n=1.55), possuem índices de refração aproximados, sendo ambos próximos da matriz das porcelana feldspáticas de recobrimento (n=1.50). Já as cerâmicas com maior teor cristalino apresentam índices de refração maiores como 2.20 para o óxido de zircônia, 1.76 para alumina e 1.72 para o espinélio. Além disso, a espessura também contribuiu para o aumento da opacidade. Os autores por fim concluíram que mais estudos devem ser feitos para determinar a quantidade de mudança na translucidez de um determinado material, que o observador humano consegue detectar.

Dozić et al. (2003) estudaram a influencia de diferentes espessuras de porcelana feldspática, translúcida e opaca, aplicadas ou não sobre infra-instrutora cerâmica, na cor final de restaurações cerâmicas. Foram confeccionados discos de subestrutura cerâmica de vidro alumina (CORE), com 0.7mm de espessura, e discos de porcelana feldspática "translúcida" (TP) e "opaca" (OP) com 1.0, 0.75, 0.50 e 0.25mm. Todos os materiais foram confeccionados nas cores A1, A2 e A3. As restaurações foram avaliadas em multi camadas (2 ou 3 discos), formadas por diferentes combinações de TP/OP e OP/TP, sendo : 0/1.0; 0.25/0.75; 0.50/0.50; 0.75/0.25; 1.0/0, todas elas não excedendo a espessura clínica de 1.0mm. Estas combinações foram lidas em combinação com o disco de subestrutura de 0.70mm, sendo que o corpo de prova final tinha 1.70mm. Todas as camadas dos discos estiverem em contato óptico, provido por água destilada (n=1.7). O índice de refração foi ajustado devido ao uso do disco de infraestrutura. Todas as combinações resultantes tiveram suas reflexões totais sobre fundo branco e preto obtidas, com o uso de um espectrofotômetro com esfera de integração acoplada, no intervalo de comprimento de onda de 360 a 750nm, com geometria de leitura d/8 e passo de 10nm. Os valores de reflexão foram reduzidos as coordenadas colorimétricas CIEL\*a\*b\* (D65, 2°), e foram calculadas as diferenças de cor ( $\Delta E$ ) entre as diferentes montagens sobre fundo branco e preto. O valor de ΔE = 1 foi utilizado como baseline para a detecção de diferenças. As combinações OP/TP também foram avaliadas sem o disco de infra estrutura, para isolar a influência do disco na cor. Neste caso as diferenças de cor avaliadas foram das mesmas montagens com ou sem disco, em função do tipo de fundo (brando e preto). Os resultados mostraram que os valores de ΔE para as proporções OP/TP de 0.25/0.75 e 0.50/0.50 para todas as cores obtiveram valores imperceptíveis ao observador ( $\Delta E < 1$ ), sendo que todas as demais combinações de maneira geral variaram com a cor do material e foram perceptíveis ao observador ( $\Delta E > 1$ ), com exceção 0.25/0.75 e 0.00/1.00 para a cor A1. A influência do disco de infraestrutura foi marcante, de maneira que quando este era adicionado à montagem, os valores de diferença de cor entre o fundo branco e preto variaram de 0  $\Delta E$  (1.00/0.00) até 0.8  $\Delta E$  (0.00/1.00), ao passo que, quando este não era utilizado, os valores variaram de 8.6 a 17.0 ΔE, respectivamente. Sendo assim as porcelanas de cobertura não foram eficientes, por si só de mascararem o fundo. Os autores afirmaram que o resultado refletiu a complexidade do assunto, no sentido de que a translucidez é umas das variáveis mais importantes no ajuste da cor de uma restauração. A variação da espessura e da opacidade do material foram determinantes para a obtenção de ΔE aceitáveis, mesmo quando a mesma cor era utilizada. Os autores ainda completaram este raciocínio dizendo, que as propriedades ópticas destes materiais deveriam ser estudadas separadamente, através de teorias como a de Kubelka-Munk. As informações obtidas através destes estudos poderiam gerar verdadeiras "receitas" de como lançar mão de diferentes materiais com diferentes opacidades e espessuras numa restauração, pois pequenas alterações na proporção dos materiais, dentro da espessura clínica, podem influenciar muito na cor final da restauração.

Karaagaclioglu e Yilmaz (2008) demonstraram que a cor final de uma restauração cerâmica poderia ser influenciada pela mudança de cor do cimento. Os autores avaliaram o efeito de duas cores de cimento dual (A1 e A3) e da ciclagem em solução salina, na cor de uma Cerâmica com alto teor de leucita (Empress, cor A1 e A2)(n=10). Foram confeccionados 20 discos com 0.8mm de espessura (simulando um laminado cerâmico) e 5 mm de diâmetro. Os discos foram fabricados de acordo com as determinações dos fabricantes e submetidos à leitura das coordenadas de cor CIEL\*a\*b\* (D65,2°), por meio de um colorímetro. Para primeira leitura os discos foram posicionados sobre substratos dentinários em contato óptico, por meio de uma fina camada de adesivo dentinário sem fotoativação. A primeira

mediação estabeleceu o baseline. Após esta primeira leitura, os discos foram jateados com óxido de alumínio e condicionados com ácido fluorídrico seguido de silano, e cimentados sobre o substrato dentinário, sendo metade dos corpos de prova cimentados com cimento dual A1 e metade com cimento dual A3. Os cimentos foram fotoativados e uma nova leitura colorimétrica foi feita imediatamente após a cimentação. Os conjuntos disco+dentina, foram armazenados em solução salina a 37°C em ambiente escuro, sendo lidos mais três vezes, com 03, 30 e 90 dias após a cimentação. Para todas as leituras colorimétricas o valor de ΔE <3.7 foi considerável aceitável. Os resultados mostraram que após 3 dias os valores de diferença de cor em relação ao baseline já eram não aceitáveis >3.7, mantendo-se assim, sem grandes variações até o final dos 90 dias. Visualmente esta diferença de cor tornou a restauração mais escurecida em relação ao baseline para ambas as cores de cerâmica e cimentos utilizados. Os autores apontaram que seria esperado ocorrer pequenas diferenças de cor em cimentos fotopolimerizáveis e duais, sendo que, antes da cimentação, os profissionais deveriam confeccionar escalas de cimentos pré-polimerizadas e realizar procedimentos de "try-in", em diferentes cores, para tentar predizer o comportamento da restauração cimentada.

Wood et al. (2008), estudaram o perfil qualitativo dos espectros de refletância de uma cerâmica feldspática de corpo. Foram confeccionados 3 corpos de prova com 13mm de diâmetro e 1.4 mm de espessura com todas as cores da escala Vita 3D-Master. Os corpos de prova foram sinterizados de acordo com as instruções dos fabricantes e após polimento final com lixa#600 a espessura foi reduzida a 1.0mm. As curvas de reflexão foram obtidas através de um espectrofotômetro com esfera de integração no intervalo de comprimento de 380 a 700nm, com passo de 1 nm. As curvas de reflexão foram depois reduzidas a parâmetros CIEL\*a\*b\*(D65,2°C). Os comportamentos das curvas de reflexão mostraram que com o

aumento da cromaticidade (amostras mais saturadas), a curva de reflexão apresenta-se mais baixa nos comprimentos de onda menores, em relação às amostras menos saturadas. Quanto maior a saturação, mais evidente foram os picos de absorção e espalhamento e maiores suas amplitudes, deslocando-se de 380 – 400nm até por volta dos 500nm. Segundo os autores as cores mais saturadas possuem uma maior concentração de fases de zircônia (n=2.1) e óxido de ítrio (n=1.92), ambas com índices de refração muito maiores que o do feldspato (1.51) e da sílica fundida (n=1.46), o que aumentaria a absorção e o espalhamento na primeira porção do espectro, resultando num menor volume de reflexão. Os autores também afirmaram que as presenças de outras fases vítrias com índices de refração diferentes, acentuaram este comportamento. Por outro lado, amostram menos saturadas, apresentaram maior luminosidade, e picos de absorção e espalhamento menos evidentes e mais restritos ao começo do espectro, em relação às amostras mais saturadas. Este comportamento resultou em espectros de reflexão com maior volume ("espectro mais alto") em todos os comprimentos de onda.

# **3 PROPOSIÇÃO**

O objetivo deste trabalho é o de verificar a influência da cor, opacidade e marca comercial de três marcas de porcelanas feldspáticas em diferentes espessuras, na atenuação dos comprimentos de onda de 410-500nm para fins de polimerização e no poder de mascaramento do fundo, no intervalo de comprimento de onda de 410-700nm, através da teoria de Kubelka – Munk.

# **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### 4.1 Materiais

- 01 Disco de diamante para seccionamento de espécimes cerâmicos de 4 polegadas de diâmetro (102 mm x 0.3mm) (BUEHLER Diamond Wafering Blade Series 15 LC Diamond No 11-4254, Lake Bluff, Illinois , EUA)
- Discos de lixa abrasiva com granulação de (#120, #240, #400 e #600) (BUEHLER
   Waterproof Abrasive Papers , Lake Bluff, Illinois , EUA)
- Frascos de Plástico de 20ml com tampa
- 01 placa de vidro
- 01 espátula de vidro
- 01 placa de aço
- 01 porta amostra de alumínio retangular para seccionamento
- 01 porta amostra gabarito de aço inox para polimento
- 01 porta amostra metálico composto por um pistão de aço e uma camisa plástica com 14mm de diâmetro
- 02 máscaras de alumínio polido para ensaios de reflectância, com diâmetro interno de 12.5mm e externo de 10mm, com 2mm de espessura.
- 01 bandeja de refratário cerâmico perfurada (Honeycomb Firing Tray, Smile Line, St Lmier, Suiça)

- 01 lata de 350ml de spray Primer Rápido Cinza (Colorgin Casa & Manutenção, Sherwin-Williams do Brasil Ind. E Com. LTDA – Divisão Colorgin, Sumaré, São Paulo, Brasil)
- 01 lata de 350ml de spray Preto Fosco (Colorgin Decor, Sherwin-Williams do Brasil
   Ind. E Com. LTDA Divisão Colorgin, Sumaré, São Paulo, Brasil)
- 01 frasco de cola de cianoacrilato instantânea Super Bonder Original (Henkel,
   Diadema, São Paulo, Brasil)
- 18 porta-comprimidos de plástico para sete dias com tampa fixa, (PKZ Inovações e Soluções, Taboão da Serra, São Paulo , Brasil)
- Frascos de Porcelana Feldspática de vidro Vintage Halo (Shofu Dental Inc. Kyoto,
   Japão)
  - 02 x Dentina Opaca (15g): OD-A1; OD-A3,5; OD-B3
  - 02 x Corpo (15g): A1B; A3,5B; B3B
  - 02 x Líquidos de modelar (50ml)
- Frascos de Porcelana Feldspática de vidro Noritake EX3 (Noritake Dental Supply,
   Nagoya, Japão)
  - o 02 x Corpo Opaco (10g):OBA1; OBA3.5; OBB3
  - 02 x Corpo (10g): A1B; A3.5B; B3B
  - o 02 x Líquido para manipulação
- Frascos de Porcelana de Fluorapatita Feldspática de vidro IPSdSIGN Ivoclar Vivadent (Ivoclar Vivadent AG, Schann, Liechtenstein)

- o 02 x Dentina (20g): A1; A3.5; B3
- o 02 x Deep Dentin (20gr): A1, A3.5, B3
- o 02 x Líquido Build-Up (manipulação) (60ml)

As tabelas abaixo trazem as composições médias, em porcentagem, das porcelanas deste estudo experimental

Tabela 4.1 – Composição média da Porcelana Vintage Halo

SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	K <sub>2</sub> O	Na₂O	CaO	ZrO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	CuO	Rb <sub>2</sub> O
63.52	17.16	11.57	6.49	1.03	0.14	0.07	0.01	0.01	0.01

Tabela 4.2 – Composição média da Porcelana Noritake EX-3

SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	K <sub>2</sub> O	Na₂O	CaO	$Sb_2O_3$	ZrO <sub>2</sub>	$Y_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
64.60	17.00	9.55	7.82	0.42	0.40	0.13	0.06	0.02

Tabela 4.3 – Composição média da Porcelana IPS dSIGN

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$K_2O$	BaO	ZnO	CaO	$ZrO_2$	$CeO_2$	$HfO_2$	$Y_2O_3$	SrO
63.36	15.91	10.45	3.50	2.59	2.00	1.38	0.71	0.05	0.04	0.03

# 4.2 Equipamentos

- Espectrofotómetro UV-VIS-NIR (Cintra 10, GMC Scientific Equipment, Austrália).
- Esfera de integração Total (Integrating Sphere 60mm DIA UV-VIS Region)
- Máquina de seccionamento de espécimes Isomet 1000 Precision Saw (Extec, Enfield, Cn, EUA).
- Politriz de espécimes (EcoMet BUEHLER Ltd Lake Bluff,Illinois,EUA).

- Paquímetro digital (Mitutoyo, Japan)
- Vibrador para gesso
- Forno de Porcelana (Lecta Press, UGIN Dentaire, Seyssins, França)
- Balança Analítica de Precisão (Mettler-Toledo , Barueri, São Paulo, Brasil)

#### 4.3 Métodos

# 4.3.1 seleção e preparo das amostras

#### 4.3.1.1 preparo das amostras

Para cada tipo e marca de pó cerâmico 1.55 gramas de pó foram pesados em um frasco plástico de 20ml, sobre uma balança analítica de precisão. Após a pesagem o pó foi colocado sobre uma placa de vidro lisa. Ao pó foi adicionado de 10 a 12 gotas de líquido de manipulação, sendo então ambos (pó e líquido) manipulados por meio de uma espátula de vidro, até que uma massa coesa e de consistência uniforme fosse obtida. Em todos os casos um aspecto brilhante e "molhado" foi observado.

Após a manipulação a massa foi inserida por incrementos em um porta amostra, composto por um pistão de aço polido, com 14 mm de diâmetro e uma camisa de plástico ajustável. A camisa de plástico foi ajustada, de forma que um recesso de cerca de 4,3mm fosse criado. Este ajuste foi feito através da sonda de profundidade do paquímetro digital.

A massa de cerâmica foi inserida por incrementos, sendo o porta-amostra posicionado ao lado da plataforma de um vibrador de gesso, de maneira que toda a inserção do material foi feita sob vibração constante. Os incrementos só foram adicionados a massa, após a eliminação de todas as bolhas visíveis dos incrementos anteriores.

Após a preenchimento completo, e em excesso, do porta amostra, o total da massa foi vibrado e levemente seco, por meio de um lenço de papel absorvente, por três vezes, num ciclo de vibração e secagem, até que a superfície da amostra revelasse um aspecto fosco.

O porta-amostra foi então posicionado invertido em 90° sobre uma placa de aço, sendo interposto entre ambos uma folha de papel absorvente.

Uma pressão manual foi aplicada por 30 segundos sobre a base do pistão, de maneira a homogeneizar e remover o excesso de líquido da amostra. Após a compressão o porta amostra foi girado em 90° e o pistão pressionado, correndo por dentro da camisa plástica, ejetando assim o cilindro de cerâmica.

O cilindro de cerâmica resultante de 4,3 x 14mm de diâmetro, foi deslocado do topo do pistão por meio da espátula de vidro e posicionado sobre uma nova placa de vidro polida. Foram confeccionados dez cilindros de cerâmica para cada tipo de pó (Figura

# 4.1).

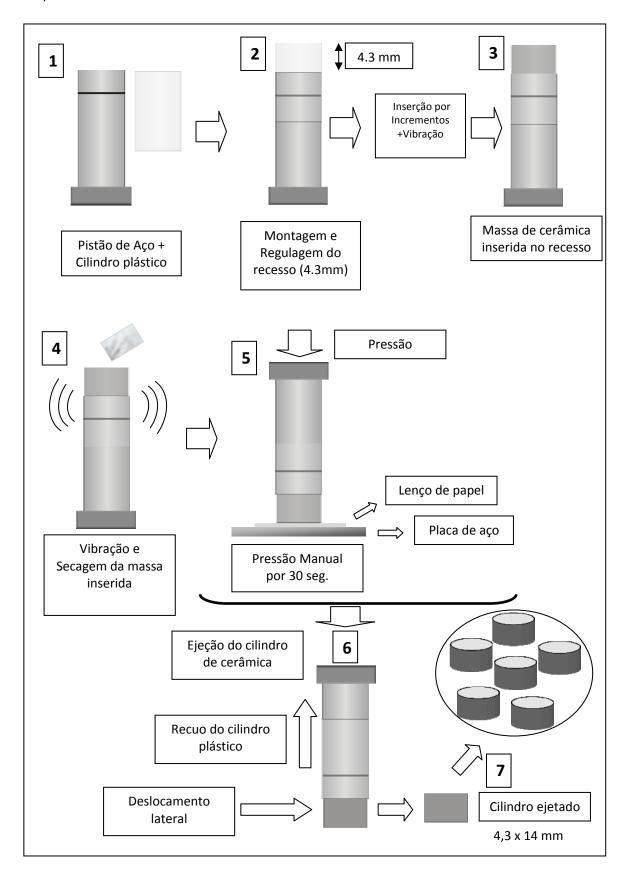


Figura 4.1 - Seqüência do preparo dos cilindros de cerâmica no porta amostra

# 4.3.1.2 sinterização das amostras

Após a confecção, cada cilindro foi posicionado no centro de uma bandeja refratária perfurada e o conjunto (bandeja+cilindro) posicionado sobre o refratário do forno de porcelana, fazendo coincidir o centro da bandeja, com o centro do refratário do forno, de maneira a garantir que o cilindro de cerâmica permanecesse no centro geométrico da mufla, recebendo assim uma quantidade de calor uniforme. Cada cilindro foi sinterizado individualmente (Figura 4.2).

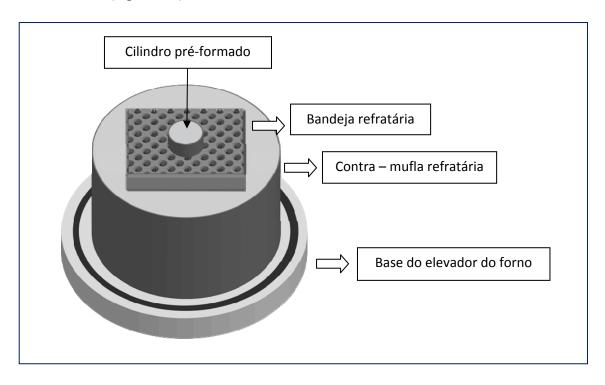


Figura 4.2 - Montagem para inserção do conjunto Cilindro de cerâmica + bandeja de refratário no forno de cerâmica

Para cada marca e tipo de pó foi inserido um programa de sinterização no forno de cerâmica. Devido à massa do cilindro de cerâmica, um minuto foi adicionado ao tempo de secagem e de queima de cada tipo e pó cerâmico, sendo estas as únicas modificações ao tempo de sinterização recomendados por cada fabricante (Modificado de SEGHI; JOHNSTON;

O´BRIEN, 1986). As informações sobre a programação de queima de cada marca estão dispostas na tabela 4.1

Tabela 4.1 Informações sobre a programação de queima de cada marca comercial

	Pré						
	Aquecimento	Secagem	Vácuo	Taxa de aumento	Temperatura	Temperatura	Tempo de
	(°C)	(min)	(hPa)	(°C/min)	final de Vácuo (°C)	final (°C)	espera (min)
HALO	450	5+1*	total	60	910	910	0+1*
IPS dSIGN	403	5+1*	total	60	869	870	1+1*
Noritake	600	7+1*	96	45	920	930	0+1*

Após a sinterização, os cilindros foram inspecionados visualmente e os que aprestaram bolhas ou rachaduras foram descartados.

As dimensões finais dos cilindros sofreram uma redução em relação às iniciais, devido à contração da cerâmica, resultando em cilindros de aproximadamente 4,0 x 12.5mm, sendo que estes foram acondicionados em potes plásticos transparentes e etiquetados, segundo o tipo de pó e marca comercial.

#### 4.3.1.3 seccionamento das amostras

Os cilindros de cerâmica foram seccionados em uma máquina de seccionamento de espécimes para obtenção dos corpos de prova.

Para tanto, cada cilindro foi colado, por sua base (a base do cilindro foi a face apoiada na bandeja refratária), por meio de uma cola de ciano-acrilato, em um porta amostra de alumínio. O porta amostra então foi aparafusado no braço articulado da máquina de seccionamento de espécimes. Os cilindros foram posicionados paralelamente ao disco de

corte, e a espessura ajustada até que a face do cilindro tocasse a face do disco. A partir daí o painel de espessura foi zerado, o porta amostra posicionado acima do disco e o parafuso da espessura ajustado até a espessura de 1.50 mm, o que significava que o cilindro foi projetado 1.50mm além da linha de corte (Figura 4.3).

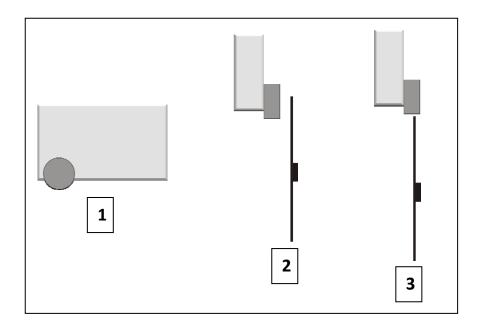


Figura 4.3 - Disco colado na superfície do porta amostra. 1 – Visão lateral; 2 – Visão frontal em relação ao disco de corte antes do ajuste; 3 – Visão frontal em relação ao disco, ajustado a 1.5 mm além da linha de corte

Os cilindros então foram seccionados sob refrigeração constante, com 200rpm de velocidade e 300gramas de carga aplicados sobre o braço articulado. Cada disco foi aferido em sua espessura, por meio de um paquímetro digital em três pontos, apresentando aproximadamente 1.20mm de espessura. Uma média de 02 discos foi obtida para cada cilindro, resultando num total de 07 discos por cada tipo de cerâmica (Figura 4.4).

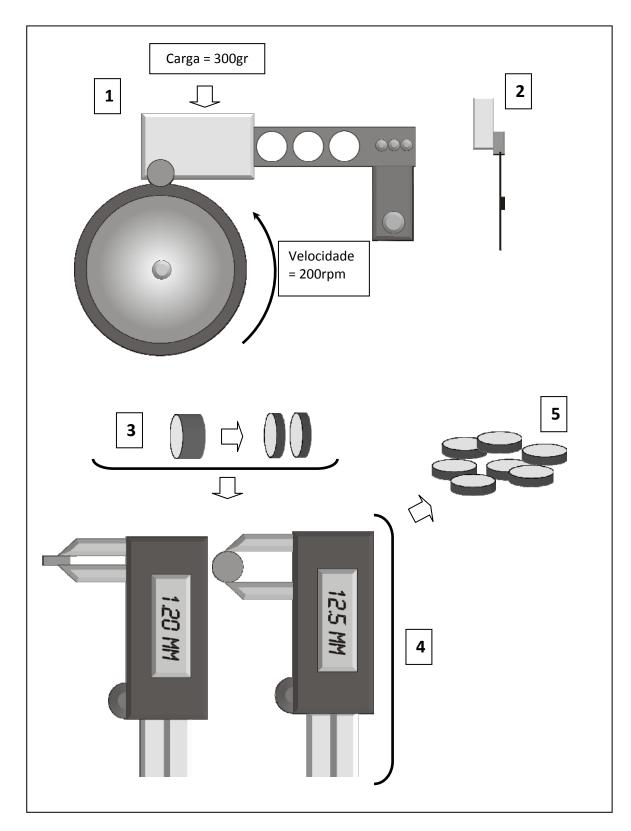


Figura 4.4 - Esquema de seccionamento dos discos. 1 — Posicionamento do conjunto+porta amostra nos braço articulado da máquina de seccionamento e parâmetros de corte (Visão Lateral); 2 — Visão Frontal; 3 — Cada cilindro gerou uma média de 02 discos.; 4 — Medição da espessura e do diâmetro; 5 — Total de discos gerados pós seccionamento para cada marca , cor e opacidade

Os discos foram secos e armazenados em potes plásticos transparentes etiquetados, com uma pequena mecha de algodão.

### 4.3.1.3 polimento das amostras

Após o seccionamento os discos foram submetidos a um processo de polimento.

Para tanto os discos foram polidos por uma série de discos de lixa de polimento (#120, #240, #400 e #600), sob refrigeração constante em uma politriz de duplo disco a uma velocidade de 180rpm, sendo constantemente aferidos em sua espessura por meio do paquímetro digital.

As lixas #120 e # 240 tinham a função de ajustar o paralelismo e a espessura até aproximadamente 1,05 mm, a lixa #400 a função do polimento inicial e o ajuste final da espessura até aproximadamente 1.00 mm, sendo o seu controle feito visualmente, pela diminuição dos riscos e eliminação de qualquer faceta nas superfícies, e por fim a lixa #600 o polimento final por um minuto em ambos os lados. As lixas foram montadas em pares na politriz (#120 / #240 e #400 / #600) (WOOLSEY; JOHNSTON; O´BRIEN, 1984). Sempre que o disco passava de uma lixa para outra, ele era lavado, para remoção de qualquer abrasivo em sua superfície.

Os discos foram polidos com movimentos circulares, contrários a rotação da politriz, por meio de um porta amostra gabarito de aço inox polido, composto por um anel e um pistão de aço passante. O anel mantinha o disco confinado e o pistão exercia uma carga constante de 350gramas sobre sua superfície. Este dispositivo também tinha a função de assegurar o paralelismo das faces da amostra (Figura 4.5).

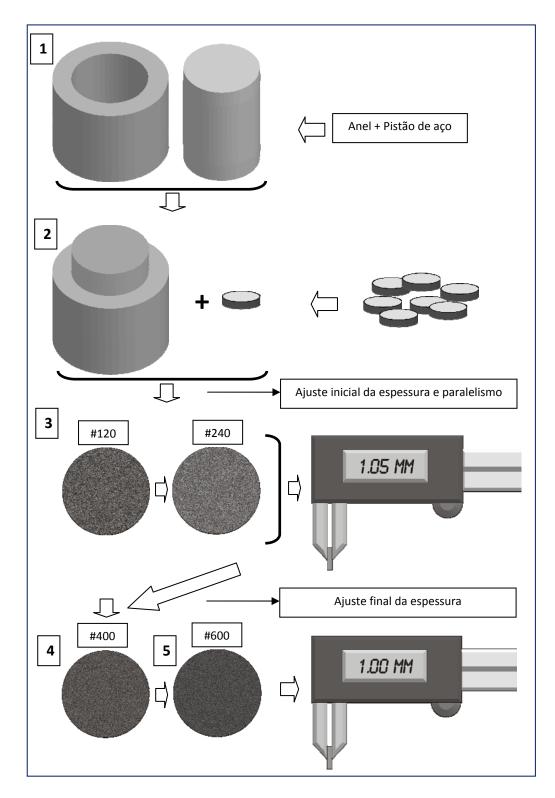


Figura 4.5 - Seqüência de polimento para ambos os lados dos espécimes. 1 – Porta amostra gabarito desmontado; 2 – Porta amostra gabarito montado; 3 – Seqüência inicial de ajuste com lixas #120 e #240 para obtenção do paralelismo e redução da espessura para 1.05mm; 4 – Início do polimento com lixa #400 e ajuste da espessura para 1.00mm; 5 – Polimento final com lixa #600 para uniformização da superfície

Após o polimento os discos foram submetidos a um banho em ultrasom por 10 segundos para eliminação de qualquer abrasivo residual, secos por meio de jato de ar,

complementado por gaze de algodão e armazenados individualmente e aleatoriamente nas caselas de porta comprimidos de plástico, etiquetados em função da cor, tipo de pó e marca de cada material. Como as caselas dos porta comprimidos eram identificadas por dias da semana (7 caselas) foi possível após o acondicionamento a identificação individual de cada disco. Os discos permaneceram armazenados desta maneira, em temperatura ambiente durante toda fase experimental subseqüente (Figura 4.6).

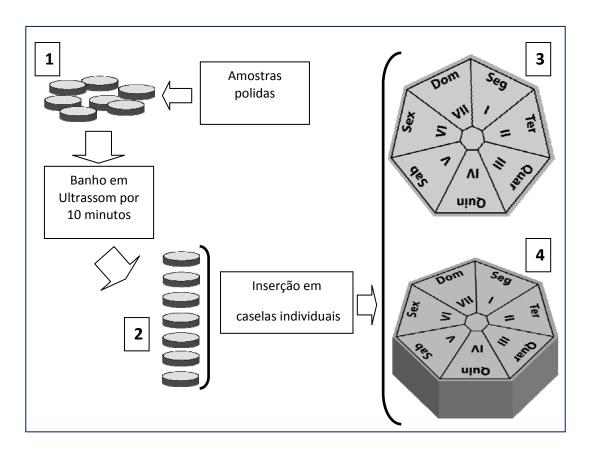


Figura 4.6 - Acondicionamento final das amostras. 1 – amostras polidas para serem inseridas no ultrassom; 2 – Amostras após banho de ultrassom, dispostas para acondicionamento individual nas caselas dos porta comprimidos. 3 – Porta comprimidos com caselas identificadas (Vista superior); 4 – Porta comprimidos (Vista projetada)

# 4.3.1.4 divisão dos grupos experimentais

Após o polimento de superfície, os grupos experimentais foram divididos em função de seus fatores principais (Opacidade, Cor e Marca) da seguinte maneira:

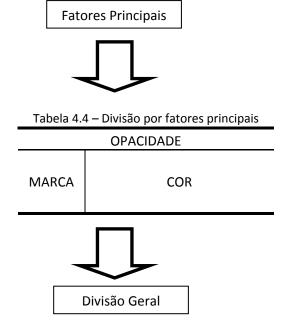


Tabela 4.5 – Divisão geral

	rubeiu 4.5 Bivisuo gerui									
<u>Marca</u>	<u>Opacidade</u>									
	Corpo ("B") Corpo Opaco ("BO")									
Vintage Halo	A1B	A35B	взв	A1BO	A35BO	взво				
Noritake EX3	A1B	A35B	B3B	A1BO	A35BO	взво				
IPS dSIGN	A1B	A35B	B3B	A1BO	A35BO	B3BO				



Tabela 4.6 – Divisão final dos grupos experimentais

<u>Marca</u>	<u>Opacidade</u>									
	Corpo Opaco									
Vintage Halo	HALOA1B	HALOA35B	HALOB3B	HALOA1BO	HALOA35BO	HALOB3BO				
Noritake EX3	NORIA1B	NORIA35B	NORIB3B	NORIA1BO	NORIA35BO	NORIB3BO				
IPS dSIGN	IPSA1B	IPSA35B	IPSB3B	IPSA1BO	IPSA35BO	IPSB3BO				

N = 7mm; Espessura =1.0mm

A tabela 4.1 traz a divisão por fatores principais, a tabela 4.2 a divisão geral e a tabela 4.3 a divisão final de todos os grupos experimentais. Os grupos foram nomeados de acordo com a marca (HALO para Vintage Halo, NORI para Noritake EX-3, IPS para IPS dSIGN), cor (A1, A35 e B3) e Opacidade ("B" para Corpo e "BO" para Corpo Opaco).

### 4.3.2. ensaio de espectrofotometria

Para o ensaio de espectrofotometria foi utilizado um espectrômetro de feixe duplo (Cintra 10), com esfera de integração acoplada, do Laboratório de Pesquisa do Departamento de Dentística "Prof.Dr. Lincoln Steagall" da Universidade de São Paulo - SP.

Os ensaios realizados foram de Refletância na faixa espectral do espectro visível de 410 a 700 nm.

Todos os dados deste trabalho experimental foram obtidos através dos Ensaios de Refletância

# 4.3.2.1 obtenção dos espetros de refletância

O espectrofotômetro utilizado neste estudo possui duplo feixe, e isto significa que uma amostra experimental e uma amostra controle foram iluminadas concomitantemente, em tempo real, por dois feixes de luz idênticos

Iremos designar o nome de controle para a amostra controle e o nome de amostra para a amostra experimental.

#### 4.3.2.2 obtenção das máscaras de leitura

Como as janelas de medição da esfera de integração para ambos os feixes de amostra e controle, eram maiores que as dimensões da amostra, diafragmas redutores de luz, ou máscaras, tiveram de ser confeccionados.

Antes, porém da confecção das máscaras era de suma importância ter certeza que ambas estivessem alinhadas uma com a outra e com os respectivos feixes de energia

Para tanto o posicionamento da incidência dos feixes nas máscaras de leitura foi conseguido através de um gabarito de papelão negro, posicionado e alinhado com o porta amostra do aparelho e o feixe de luz. No local de incidência do feixe, foi marcado um ponto com grafite, ponto este a partir do qual foram construídos os orifícios de passagem de luz (STEAGALL, 2005)

A partir das informações dos gabaritos de papelão, foram confeccionadas máscaras de alumínio circulares estojadas de 25mm de diâmetro externo, diâmetro este compatível com o porta amostra do espectrofotômetro, e com diâmetro interno compatível com o diâmetro da amostra experimental de 12.5mm, e profundidade de 2mm. Estas máscaras possuíam também lados predeterminados, sendo que o lado voltado para o feixe de luz tinha um orifício de 10 mm de diâmetro e o lado voltado para o fundo o diâmetro interno de 12.5mm (Figura 4.7).

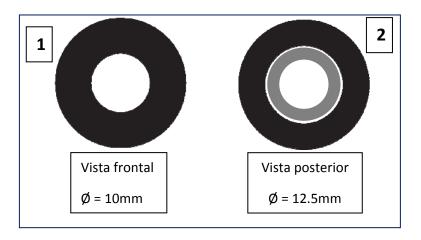


Figura 4.7 - Diâmetros das máscaras de leitura. 1 – Visão frontal, voltada para a janela da esfera de integração com 10mm de diâmetro; 2 - Visão da face posterior, oposta, voltada para o fundo, com 12.5mm de diâmetro

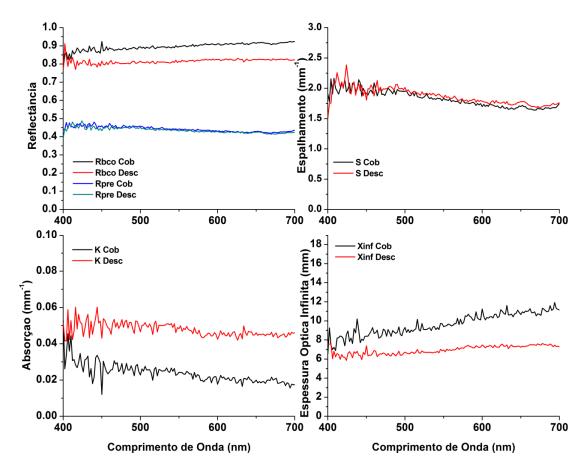
Esta diferença de diâmetros foi necessária para que a amostra não se deslocasse durante as leituras, caindo dentro da esfera de integração e para que não houvesse fuga de energia ou "edge - loss" pelas bordas do material (JOHNSTON et al., 1996; RAGAIN; JOHNSTON, 2001). O estojamento da máscara também contribuiu para a diminuição do "edge – loss", pois seu diâmetro interno foi polido, durante a usinagem do material. Foi fabricado um par de máscaras, sendo uma para o controle e uma para a amostra.

Um piloto prévio demonstrou o efeito de "edge-loss" nas leituras de reflexão.

Este piloto teve o objetivo de demonstrar o efeito do "edge-loss" em um disco de cerâmica incisal. As reflexões do disco sobre fundo branco e preto foram lidas no intervalo de comprimento de onda de 400-700 nm em duas condições:

- Amostra inserida em uma máscara estojada, ou seja, com recobrimento de borda
- Amostra inserida em uma máscara sem recobrimento de borda

Os resultados do piloto estão dispostos no quadro abaixo:



Quadro 4.1 – Curvas de Refletância, Espalhamento, Absorção e de Espessura Óptica Infinita de uma cerâmica incisal, lida em dois modos, "Cob", com bordas cobertas e "Desc", com bordas descobertas

O resultado do piloto mostrou que houve uma diferença no volume de refletância entre os dois modos de leitura, sendo que o menor volume de reflexão para o modo descoberto se deu pela perda de energia ou "edge-loss" pelas bodas do material.

Pode-se observar também que este fenômeno foi mais perceptível para a amostra lida sobre fundo branco ("Rbco") em relação à situação lida sobre fundo preto ("Rpre"). Em relação às propriedades ópticas, a perda de energia, fez com que a amostra apresentasse maiores valores de espalhamento e de absorção, resultando numa maior extinção de luz, que na verdade foi um fenômeno resultante da técnica de leitura e não do material em si. Este fenômeno também gerou menores valores de espessura óptica infinita.

Este piloto também nos deu a oportunidade de medir a diferença de cor ( $\Delta E$ ) entre as curvas de refletância obtidas sobre fundo branco nas duas situações.

Os valores colorimétricos foram obtidos nos parâmetros CIEL\*a\*b\* com iluminante D65 e observador a 2°. O resultado apontou um valor de  $\Delta E = 3.58$ , sendo então perceptível ao observador humano (RUYTER; NILNER; MÖLLER, 1987).

Logo nos pareceu claro que o modo de leitura com bordas cobertas era o mais indicado, sendo o escolhido para todo o procedimento experimental.

Após a confecção, as máscaras foram pintadas com tinta Spray.

Para tanto, a superfície que seria voltada para esfera de integração foi levemente polida com lixa #600, apenas para remover o brilho da superfície, tornado esta mais difusa. Depois, as superfícies foram secas, e receberam duas camadas subseqüentes, com 10 minutos de intervalo entre elas, de Primer Rápido Cinza, que serviu de agente de união entre o substrato de alumínio e a tinta de cobertura. Após 10 minutos da aplicação da segunda e última camada de primer, a superfície recebeu de duas a três demãos de tinta Spray Preto Fosco, até que visualmente toda a superfície estivesse coberta. Cuidados foram tomados para que a superfície interna ficasse livre de qualquer contato com a tinta.

# 4.3.2.3 calibração do aparelho

Antes de qualquer leitura o aparelho precisou ser calibrado. Esta calibração tinha o objetivo de equalizar os feixes de energia, dentro de um limite de 0 a 100% e foi realizada através da utilização de dois padrões brancos de referência feitos de Spectralon, com

reflexão conhecida por volta de 0.99 através do espectro visível. (Spectralon SRM99, Labsphere, New Hampshire, EUA) (Figura 4.8).

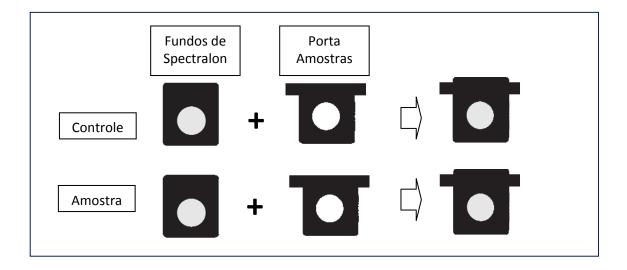


Figura 4.8 - Montagem da calibração para amostra e controle com porta amostras vazios sobre os fundos de referência brancos de Spectralon

Para tanto o acessório Esfera de Integração foi acoplado ao aparelho, e o aparelho ligado. Aguardava-se cerca de 20 minutos para o auto-setup do equipamento e do acessório, assim como a estabilização da lâmpada de quartzo.

Após este tempo, ambos os fundos de referência eram posicionados nas janelas da amostra e do controle e dentro do software SPECTRAL 1.50 release 1.1 (GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Dandenong, Austrália), selecionava-se a opção de "Baseline" ou linha de base.

Antes, porém era necessário determinar os parâmetros de leitura os quais seriam os mesmos para todo o experimento:

- Intervalo de comprimento de onda: 400 700 nm (espectro visível)
- Passo de leitura: 2 nm

# Velocidade de Leitura: 450 nm/min

Com os parâmetros de leitura definidos, a calibração pode ser feita, selecionando-se os parâmetros de software citados acima. Como resultado uma linha plana em relação ao eixo "x" e próxima a 100% no eixo 'Y", foi observada para todos os comprimentos de onda, equalizando assim ambos os feixes de energia. Uma amostra da seleção dos parâmetros no software pode ser observada na figura 4.9

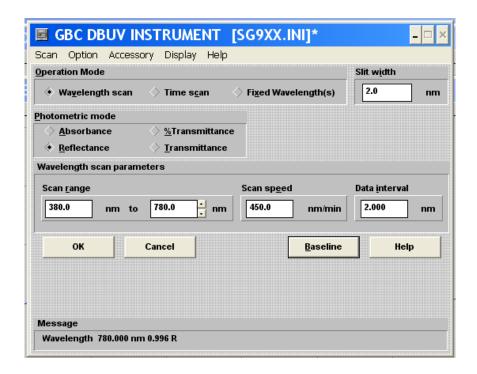


Figura 4.9 – Janela do software SPECTRAL contendo parâmetros de leitura deste trabalho experimental

Por fim, esta calibração foi repetida novamente, com as máscaras vazias em posição, obtendo assim a equalização dos feixes, em relação às máscaras de leitura (Figura 4.10).

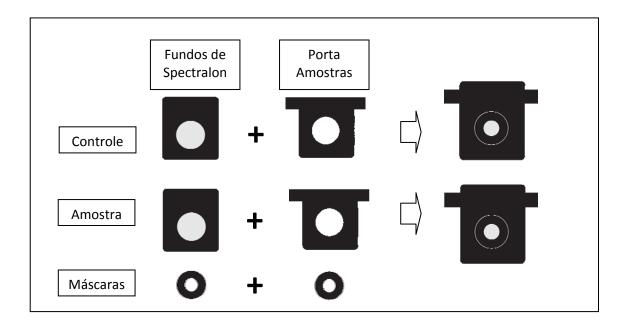


Figura 4.10 - Montagem da calibração para amostra e controle com porta amostras e máscaras vazias sobre os fundos de referência brancos de Spectralon

# 4.3.2.3 ensaio de refletância.

# 4.3.2.3.1 roteiro de leitura

Antes de iniciar a leitura das amostras, um roteiro foi elaborado com o intuito de diminuir a influência do método no resultado.

Era de nosso conhecimento que a cada nova sessão de leitura, uma nova calibração teria de ser feita, o que implicaria em um reposicionamento dos padrões de calibração, das máscaras de leituras, das amostras e em fim de novas rotinas de calibração. Estas rotinas devem sempre ser as mesmas, mas podem sofrer variações, que podem ser controladas, se a periodicidade de repetição for a mínima possível.

Para controlar estas variáveis escolhemos ler todas as mostras em um só tempo, sendo que assim a linha de base ou baseline seria sempre a mesma para todas elas, e também mantendo a máscara do controle sempre em posição. Durante as leituras, a máscara do controle foi sempre utilizada vazia, sobre o fundo branco, e a máscara da amostra foi sempre utilizada com a "amostra" inserida, ora sobre o fundo branco, ora sobre o fundo preto.

Um roteiro de leitura pode ser construído dentro do programa SPECTRAL, no qual as informações da amostra, segundo sua marca, cor, opacidade, e principalmente do fundo de leitura foram inseridos (Figura 4.11).

A questão do fundo era muito importante, pois, todas as amostras teriam de ser lidas sobre o fundo branco e preto, necessários para o experimento. Isto implicava em reposicionar o porta amostra e a amostra novamente. Maiores detalhamentos quanto aos fundos serão dispostos no item 4.3.2.3.2.

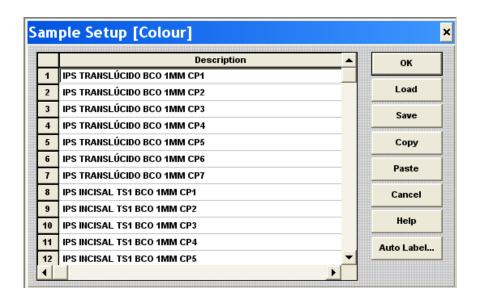


Figura 4.11 – Janela do software SPECTRAL contendo um exemplo da lista següencial de leitura das amostras

Este procedimento facilitou a leitura evitando erros de troca entre as amostras, pois o software gerava uma janela de chamada com as informações de cada amostra (Figura 4.12)



Figura 4.12 - Janela de troca de amostras ou "Prompt" durante as leituras seqüenciais

Alguns cuidados foram tomados durante estas trocas.

Como citado anteriormente, as amostras foram, após polimento, acondicionadas aleatoriamente em caselas individuais em porta comprimidos de plástico, segundo sua marca, cor e opacidade. Este procedimento possibilitou a identificação de cada espécime, identificação esta que mantivemos até o final do experimento, por dois motivos.

Em primeiro lugar seria possível rastrear qualquer amostra que apresentasse qualquer alteração de leitura, e em segundo lugar, era necessário que esta mesma amostra fosse ser lida novamente na troca dos fundos.

Para manter a "individualidade" das amostras, as amostras só eram retiras das caselas, no momento anterior da inserção no porta amostra sendo dispostas de maneira ordenada sobre uma gaze de algodão seca, até o momento da leitura. Para a identificação do lado de leitura, uma pequena marcação foi feita na borda lateral da amostra com grafite. No porta amostra havia uma segunda marcação de grafite para orientar o reposicionamento da amostra (KUBELKA, 1954). Após a leitura, as amostras eram lavadas com detergente

neutro em água corrente com o auxílio de uma escova de cerdas macias, secas com gaze de algodão, retornando as caselas.

#### 4.3.2.3.2 fundos de leitura e troca dos fundos.

O roteiro descrito acima foi feito em duplicata, um para o fundo branco e um para o fundo preto.

O fundo branco utilizado para as leituras experimentais foi diferente do fundo banco utilizado para calibração do aparelho.

Utilizamos padrões em formato de pastilhas de pigmento branco cerâmico (HALO OPACO VOP) sinterizadas, com o mesmo diâmetro das amostras, porém mais espessas com cerca de 3,7mm (TAIRA; OKAZAKI; TAKAHASHI, 1999). Esta espessura foi escolhida para superar a espessura óptica infinita dos opacos cerâmicos.

Estes fundos foram utilizados devido à necessidade da amostra e o fundo estarem contato óptico, o que não era possível com os fundos padrão. Este contato óptico foi possibilitado através de uma gota de óleo de imersão (LEIKA) de índice de refração conhecido de 1.51 entre a superfície do fundo experimental e a base da amostra.

O objetivo deste contato era o de diminuir a dispersão de luz entre a amostra e o fundo experimental que poderia ocorrer devido à diferença dos índices de refração entre a amostra (n=1.5) e a camada de ar (n=1.00) compreendida entre a amostra e o fundo (MOLENAAR; ten BOSCH; ZIJP, 1999).

Como fundo preto, foi utilizando uma porção de veludo preto, dobrado, que também esteve em contato óptico com o a base da amostra (MOLENAAR; ten BOSCH; ZIJP, 1999).

Uma ilustração sobre a montagem das leituras nos fundos experimentais pode ser visto na figura 4.13.

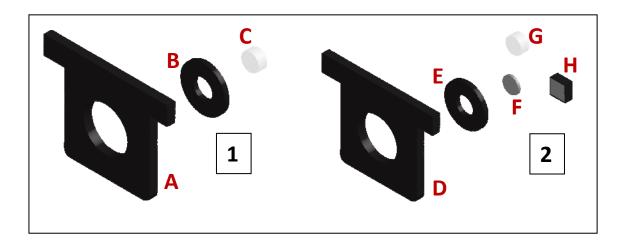


Figura 4.13 - Montagem experimental para controle (1) e amostra (2). Montagem para o controle (1), A – Porta amostra; B – Máscara; C – Fundo cerâmico branco. Montagem para amostra (2), D – Porta amostra; E – Máscara; F – Corpo de prova; G – Fundo cerâmico branco para leitura de refletância sobre o branco; H – Fundo de veludo preto para leitura da refletância sobre o preto

O óleo de imersão também fornecida contato óptico das bordas da amostra com o diâmetro interno da máscara.

Devido à utilização do óleo de imersão, as amostras tiveram de ser lavadas após cada leitura, e reposicionadas para a leitura do fundo subsequente, como descrito acima.

O efeito do contato óptico entre amostra e fundo experimental foi demonstrado em um estudo piloto.

Neste piloto as curvas de espalhamento (S) e absorção (K) de uma amostra da cerâmica HALO A1B Corpo, foram obtidas a partir de ensaios de refletância em dois modos: Sem contato óptico (S "ar" e K "ar") e Com contato óptico (S "óleo" e K "óleo).

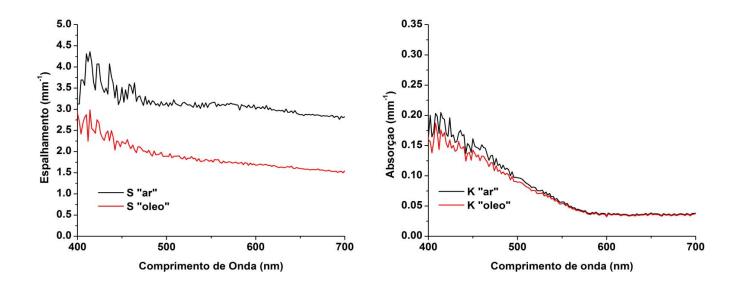


Figura 4.14 – Comparação das curvas de Espalhamento (S) e Absorção (K), obtidas da mesma amostra, com e sem contato óptico

O experimento piloto acima mostra que os valores de Espalhamento e Absorção apresentam maiores valores quando obtidos no modo sem contato óptico. Este comportamento foi mais marcante para o espalhamento em comparação a absorção.

A figura 4.15 ilustra o diagrama final de leitura das amostras na esfera de integração

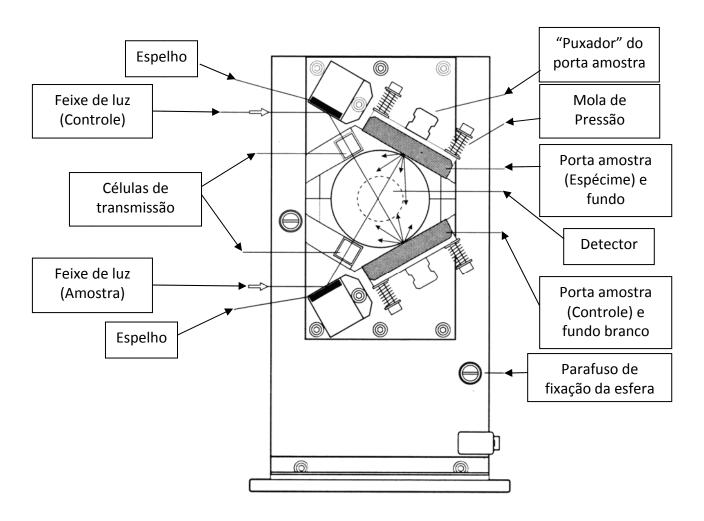


Figura 4.15 - Diagrama de do ensaio de refletância com o acessório Esfera de integração

# 4.3.2.3.3 obtenção das curvas

Para cada amostra as curvas de reflexão foram obtidas em duplicata para fundo branco e preto e armazenadas em um único arquivo de dados.

Após o término de todas de todo as leituras, este arquivo foi aberto dentro do software SPECTRAL e cada uma das curvas exportadas para um formato binário com extensão \*.ASC. Para cada leitura, um arquivo \*.ASC foi gerado.

Os arquivos binários foram abertos no programa Microsoft Excel 2007 através do interpretador de base de dados externos. Como este software possibilitava a importação de um único arquivo binário por vez, um pequeno programa, escrito em Visual Basic facilitou e automatizou a abertura de múltiplos arquivos.

As curvas foram inseridas nas planilhas de acordo com a marca, cor, opacidade e fundo, sendo que as curvas utilizadas para os cálculos das propriedades ópticas foram obtidas pela média entre as duas leituras repetidas feitas para cada amostra.

# 4.3.2.4 obtenção dos parâmetros ópticos

# 4.3.2.4.1 obtenção do Espalhamento, Absorção e Espessura Óptica

Para cada repetição foi obtida então um par de curvas, uma da amostra sobre branco e uma sobre a amostra sobre fundo preto.

Sendo assim cada par de curvas era necessário para que, através da Teoria de Duplo Fluxo de Kubelka-Munk (KM), fosse possível a obtenção das propriedades ópticas a serem estudadas.

Cada par de curvas foi tabulado em uma planilha e nesta planilha, toda a seqüência de fórmulas de (KM) foi escrita para a obtenção da variável Espessura Óptica, que foi calculada para cada comprimento de onda, formando uma curva, da qual as informações

para ambos os intervalos de comprimento de onda de 410-500nm de 410-700nm, foram retiradas, logo o cálculo foi um só para ambos os intervalos.

A obtenção dos valores de Espessura Óptica seguiu a seguinte seqüência:

# 4.3.2.4.2 correção dos Espectros de Reflexão

As curvas de reflexão obtidas em ambos os fundos tiveram de ser corrigidas devido a perdas de energia, ocorridas devido à diferença dos índices de refração entre a amostra (n=1.5) e o meio onde estavam imersas, no caso o ar (n=1.00). Esta correção foi feita utilizando-se a fórmula corretiva de Saunderson (SAUNDERSON, 1942; DUNTLEY, 1942; RAGAIN; JOHNSTON, 2001). Duntley (1942) e Saunderson (1942) demonstraram que a reflexão de um material que apresentasse reflexões interfaciais na superfície seria dada pela equação:

$$R' = \rho + \frac{(1-\rho)(1-\rho_i)R}{(1-\rho_i R)}$$
 (Eq. 4.1)

Resolvendo esta equação para R, obtemos:

$$R = \frac{R' - \rho}{1 + \rho_i - \rho - \rho_i} \tag{Eq.4.2}$$

Onde R é a refletância (Obtida se não houvesse reflexões interfaciais),  $\rho$  a fração de luz colimada que está entrando na amostra e  $\rho_i$  a fração da luz que é refletida de volta para a amostra como reflexão interna. Em alguns textos  $\rho$  é conhecido como  $K_1$  e  $\rho_i$  como  $K_2$ . Como neste trabalho, a esfera de integração é TOTAL (Reflexão colimada + Reflexão difusa), ambos

os coeficientes  $K_1$  e  $K_2$  foram introduzidos na equação de Saunderson e o comportamento destes parâmetros pode ser observado na figura abaixo (Figura 4.16).

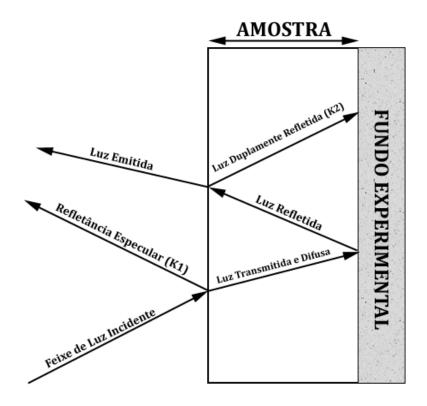


Figura 4.16 – Efeitos das reflexões interfaciais ( $K_1$  e  $K_2$ ) na amostra, em contato óptico, com um fundo experimental refletor

Ao passo que a fluxo de luz colimada passa do ar para a amostra polida, com índice de refração n, sua reflexão ( $\rho$ ) ou  $K_1$  é dada pela equação (KORTUM; LOHR, 1969):

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \tag{Eq.4.3}$$

O fluxo difuso incidente ( $\rho_d$ ) passando de um meio menos denso (ar) para um meio mais denso (amostra) é dado por (JUDD, 1942):

$$\rho_{d} = \frac{1}{2} + \frac{(n-1)(3n+1)}{6(n+1)^{2}} + \frac{n^{2}(n^{2}-1)^{2}}{(n^{2}+1)^{3}} ln \left(\frac{n-1}{n+1}\right) - \frac{2n^{3}(n^{2}+2n-1)}{(n^{2}+1)(n^{4}-1)} + \frac{8n^{4}(n^{4}+1)}{(n^{2}+1)(n^{4}-1)^{2}} ln (n)$$
(Eq.4.4)

A refletância de um fluxo difuso que passa de um meio mais denso (amostra) para um meio menos denso (ar), pode ser relacionada com a refletância da direção oposta, descrita acima na Equação 4.4. Este refletância é chamada de refletância interna do material ( $\rho_i$ ) ou  $K_2$ , é dada pela seguinte equação (JUDD, 1942; KORTUM; LOHR, 1969; RICHMOND, 1963):

$$\rho_i = 1 - \frac{1 - \rho_d}{n^2} \tag{Eq.4.5}$$

Os valores de ( $\rho$ ) ou  $K_1$  e ( $\rho_i$ )  $K_2$  dependem do índice de refração da amostra e foram calculados usando-se as equações 4.3, 4.4 e 4.5. Para as porcelanas feldspáticas odontológicas com alto teor de  $SiO_2$ , o índice de refração é 1.5. Sendo assim o valor de  $K_1$  calculado foi de 0.04 e de  $K_2$  calculado de 0.596.

Os valores de K1 e K2 foram substituídos na Equação 4.2, e as refletâncias observadas foram corrigidas.

#### 4.3.2.4.3 aplicação da Teoria de Kubelka-Munk

Os valores corrigidos de refletância foram utilizados para calcular as propriedades ópticas Espalhamento ("S"), Absorção ("K") e, a variável Espessura Óptica Infinita (X∞) através da teoria de Kubelka Munk.

A teoria de Kubelka Munk inicia-se com o cálculo das constantes ópticas "a" e "b"

As constantes "a" e "b" são calculadas pelas seguintes equações (MIYAGAWA; POWERS, 1983):

$$a = \left(\frac{R_{sp} - R_{sb} - R_P + R_B - R_{sp} R_{sb} R_P + R_{sp} R_{sb} R_B + R_{sp} R_P R_B - R_{sb} R_P R_B}{2(R_{sp} R_B - R_{sb} R_P)}\right)$$
 (Eq.4.6)

Onde  $R_{sp}$  é a refletância da amostra obtida sobre fundo preto,  $R_{sb}$  a refletância da amostra sobre fundo branco,  $R_P$  a refletância do fundo preto e  $R_B$  a refletância do fundo branco

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \tag{Eq.4.7}$$

A refletividade (R∞), a refletância da amostra, na espessura óptica infinita é definida pela equação (KUBELKA, 1948):

$$R \infty = a - b \tag{Eq. 4.8}$$

O coeficiente de Espalhamento ("S") por unidade de espessura da amostra é definido pela equação (KUBELKA, 1948; TAIRA; OKAZAKI; TAKAHASHI, 1999):

$$S = \left(\frac{1}{bX}\right) Arctgh\left(\frac{(aR_B + aR_{Sb} - R_{Sb}R_B - 1)}{(bR_B - bR_{Sb})}\right), \text{mm}^{-1}$$
 (Eq.4.9)

Onde X é a espessura da amostra, Ar ctgh o inverso da cotangente hiperbólica. A cotangente hiperbólica é definida pela equação:

$$ctgh(x) = \frac{\cosh(x)}{senh(x)} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$
 (Eq. 4.10)

O coeficiente de Absorção ("K") é definido pela equação (KUBELKA, 1948):

$$K = S(a-1) \text{ ,mm}^{-1}$$
 (Eq.4.11)

A obtenção dos coeficientes de Espalhamento ("S") e Absorção ("K") caracteriza o material opticamente, possibilitando o cálculo da Espessura óptica infinita (X∞) (MIYAGAWA; POWERS, 1983; MIYAGAWA; POWERS; O'BRIEN, 1981):

$$X_{\infty} = \left(\frac{1}{bS}\right) Ar \ ctgh\left(\frac{(1-0.999aR_{\infty})}{(0.999bR_{\infty})}\right)$$
,mm (Eq. 4.12)

Onde X∞ é a espessura óptica infinita para luz monocromática, para um determinado comprimento de onda. A espessura óptica infinita é a espessura onde a refletância da amostra atingiria 0.999 da refletividade, em outras palavras a espessura onde não se pode distinguir nenhum tipo, forma ou cor de luz passando pela amostra, sendo que a energia transmitida seria de 1-0.999 (JUDD; WYZECKI, 1975; MIYAGAWA; POWERS, 1983; MIYAGAWA; POWERS; O'BRIEN, 1981).

A luz não atravessa a amostra, quando esta na espessura óptica infinita, porque a energia extingue-se, é espalhada para reflexão e absorvida dentro da substância da amostra (WOOLSEY; JOHNSTON; O'BRIEN, 1984).

Cada uma das equações acima foi aplicada para cada comprimento de onda, e calculadas de maneira sequencial através do software Microsoft Excel 2007 (Figura 4.17).

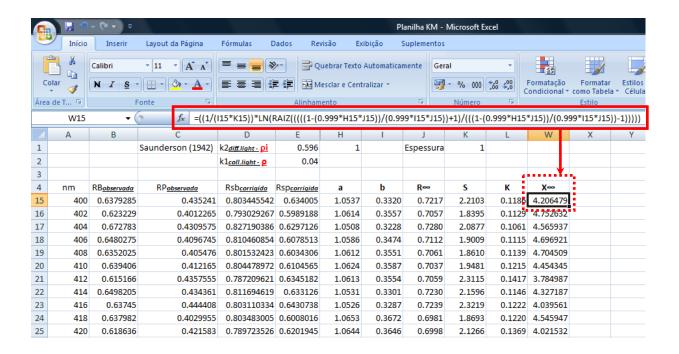


Figura 4.17 - Planilha com os dados ordenados para o cálculo das propriedades ópticas "S" e "K" e da Espessura óptica infinita

Para o cálculo da Espessura óptica de 50 % (0.50), de 90 % (0.90) e de 95% (0.95), no intervalo de comprimento de onda de 410-500nm, estes coeficientes (0.50, 0.90 e 0.95) foram substituídos na Equação 4.12.

A obtenção dos coeficientes de Espalhamento ("S") e Absorção ("K") possibilita a predição da curva de refletância do material testado sobre qualquer fundo (Rg) e espessura (X), através da equação (KUBELKA, 1948; 1954):

$$R_{KM} = \frac{1 - R_g[a - b \ ctgh \ (bSX)]}{a - R_g + b \ ctgh \ (bSX)} , \qquad (Eq. 4.13)$$

As refletâncias dos materiais nas espessuras de 0.5mm, 1.25mm e 2.00mm no intervalo de comprimento de onda de 410 a 700 nm, foram preditas utilizando a Equação 4.13

# 4.3.2.5 obtenção do parâmetro de translucidez (TP)

Após a predição das curvas de refletância nas espessuras de 0.5mm, 1.25mm e 2.00mm em ambos os fundos, estas curvas foram reduzidas a parâmetros colorimétricos no espaço de cor CIEL\*a\*b\* de 1976.

A obtenção dos valores colorimétricos iniciou-se com a determinação dos valores X, Y, Z, que são o resultado do produto da curva espectral de refletância do objeto (E $\lambda$ ) vezes a curva do iluminante padrão D65 (6500k) (P $\lambda$ ) vezes a curva do observador padrão de 2° (1931) x( $\lambda$ ), y( $\lambda$ ) e z( $\lambda$ ), multiplicadas nanômetro a nanômetro e normalizadas pela constante "k", sendo k = y( $\lambda$ ), segundo as fórmulas (HAWKYARD; BEZERRA, 2001):

$$X = \sum (E\lambda \bullet P\lambda \bullet x\lambda)k \tag{Eq. 4.14}$$

$$Y = \sum (E\lambda \bullet P\lambda \bullet y\lambda)k \tag{Eq. 4.15}$$

$$Z = \sum (E\lambda \bullet P\lambda \bullet z\lambda)k \tag{Eq. 4.16}$$

Os valores X, Y e Z por sua vez foram transformados para os valores CIEL\*a\*b\* através das seguintes fórmulas (BILMEYER; SALTZMAN, 1981):

$$L^* = 116 \bullet \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) - 16$$
 (Eq. 4.17)

$$a^* = 500 \bullet \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} \right) - \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) \right]$$
 (Eq. 4.18)

$$b^* = 200 \bullet \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right) - \left( \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right) \right]$$
 (Eq. 4.19)

Onde Xn, Yn e Zn são os dados tabelados de tri estímulo para o valor de referência branco, segundo o iluminante e o observador utilizados, sendo (Xn = 95.047; Yn = 100; Zn = 108.883) (WESTLAND; RIPAMONTI, 2004)

O parâmetro L\* diz respeito à variação da luminosidade da amostra, indo de zero a 100. O parâmetro a\* diz respeito à variação do eixo verde (-) e vermelho (+). O parâmetro b\* diz respeito à variação do eixo azul (-) e amarelo (+). Os parâmetros a\* e b\* também são chamados de coordenadas de cromaticidade (BILLMEYER; SALTZMAN, 1981).

O Parâmetro de Translucidez (TP) para cada amostra foi obtido pela diferença dos valores colorimétricos, como uma "diferença de cor", da amostra obtida da curva de refletância sobre fundo preto menos os valores colorimétricos obtidos da curva sobre fundo branco, através da fórmula (LEE, 2007):

$$TP = \sqrt{(L_P - L_B)^2 + (a_P - a_B)^2 + (b_P - b_B)^2}$$
 (Eq. 4.20)

Onde o índice "P" representa as coordenadas colorimétricas obtidas a partir da refletância da amostra sobre fundo preto e "B" as coordenas colorimétricas obtidas a partir da refletância da amostra sobre fundo branco. Além de uma quantificação colorimétrica, o Parâmetro de Translucidez dá o nível de mascaramento do fundo. Quanto menor seu valor, maior o efeito de mascaramento (LEE, 2007).

#### 4.3.3. análise dos dados

Este trabalho experimental é dividido em duas partes:

Análise quantitativa e qualitativa no intervalo de cumprimento de onda de 410-500nm, e Análise quantitativa e qualitativa no intervalo de comprimento de onda de 400-700nm.

4.3.3.1 análises no intervalo de comprimento de onda de 410 – 500nm

#### 4.3.3.1.2 análises quantitativas

Foram avaliados os valores de Espessura óptica, obtidos através das equações de KM, nas extinções de 50% (0.50)  $\mathbf{X}_{50}$ , 90% (0.90)  $\mathbf{X}_{90}$  95% (0.95)  $\mathbf{X}_{95}$  e Infinita 99.9%  $\mathbf{X'} \sim_{99.9}$  (0.999) para os três fatores envolvidos, através do teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) de três fatores, para cada variável (Espessura), perfazendo um total de quatro análises.

Após as ANOVAS, as médias foram comparadas, para cada variável, através do teste de múltipla comparação de Games-Howell. Este teste comparou cada par de médias, ajustando o erro em cada comparação.

# 4.3.3.1.3 análises qualitativas

Foi plotado para cada grupo experimental o perfil das extinções, em função da espessura óptica de 10% (0.10), 20% (0.20), 30% (0.30), 40% (0.40), 50% (0.50), 60% (0.60), 70% (0.70), 80% (0.80), 90% (0.90), 95% (0.95) e 99.9% (0.999). Estes perfis revelaram o comportamento da extinção / transmissão de luz em função das espessuras, permitindo seu estudo.

4.3.3.2 análises no intervalo de comprimento de onda de 410 – 700nm

#### 4.3.3.2.1 análises quantitativas

Foram realizadas três análises quantitativas, a primeira, avaliando-se os parâmetros de Translucidez (TP), das espessuras estimadas de 0.5mm  $TP_{0.5}$ , 1.25mm  $TP_{1.25}$  e 2.00mm  $TP_{2.00}$ , para cada grupo experimental, a segunda avaliando-se a Espessura Óptica Infinita  $X^{\infty}$  e a terceira, estudando a relação entre Espessura óptica infinita e os Parâmetros de translucidez.

# 4.3.3.2.1.1. cálculo dos parâmetros de translucidez

Para o cálculo dos parâmetros de translucidez, as espessuras foram estimadas a partir da espessura observada de 1.00mm, através da Teoria de KM.

Cada TP tornou-se uma variável, e foi calculada, a partir das reflexões estimadas, através da equação 4.13, e pelo cálculo dos valores colorimétricos para obtenção de TP, através da equação 4.20. Para cada variável, uma ANOVA de três fatores foi realizada com o objetivo de se detectar diferenças entre os grupos experimentais, sendo que a identificação pontual destas diferenças foi realizada pelo teste complementar de múltipla comparação de Games-Howell.

Os valores de TP também foram comparados de maneira absoluta, adotando os valores de aceitabilidade e perceptibilidade de diferença de cor, reportados por Ruyter, Nilner e Möller (1987). Valores de TP > 3.3 foram considerados perceptíveis e não aceitáveis pelo observador comum.

#### 4.3.3.2.1.2 cálculo da espessura óptica Infinita (X∞)

Os valores de X∞ foram obtidos através da Teoria KM, utilizando-se a equação 4.12.

O teste de ANOVA de três fatores foi aplicado para detectar diferenças entre os grupos experimentais, complementado pelo teste de Games-Howell.

# 4.3.3.2.1.3 cálculo das relações entre X∞ com **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub>

Estas relações (associação e predição) foram estudas para cada um dos pares formados entre X∞ e cada variável TP, num total de 3 pares.

A associação entre os pares de variáveis foi testada pelo teste de paramétrico de correlação de Pearson, e o relacionamento entre os pares pelo teste de paramétrico de Regressão linear.

O teste de paramétrico Regressão linear explicou o relacionamento e a predição entre as variáveis, através de equações lineares do tipo  $y = \beta x + b$ , onde "y" é a variável a ser predita (X $\infty$ ), e "x" a variável explicativa (TP).

#### 4.3.3.2.2. análises qualitativas

Os valores das propriedades ópticas características de cada material, Espalhamento ("S"), Absorção ("K") e os valores de X∞, foram plotados em função do comprimento de onda para cada grupo experimental, e analisados em seus perfis espectrais.

Também foram plotados as curvas de refletância estimadas para o cálculo de TP, agrupadas em função do grupo experimental, junto com curva de refletividade (R∞) correspondente, possibilitando assim um estudo do perfil da variação das curvas de refletância com diferentes espessuras, em função da curva de refletividade.

Para todas as situações deste trabalho, as análises qualitativas, foram feitas através do Software SPSS-16, e todos os espectros plotados, através do software Microcal Origin 8.0.

#### **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, cada uma, para os intervalos de comprimento de onda de 410-500 e 410-700nm, respectivamente.

#### **5.1 Análises Quantitativas**

5.1.2 análises das espessuras ópticas no intervalo de 410 a 500nm.

Para estas análises, este trabalho possui quatro variáveis dependentes:

- Espessura ótica a 50% de extinção (X<sub>50</sub>)
- Espessura óptica a 90% de extinção (X<sub>90</sub>)
- Espessura óptica a 95% de extinção (X<sub>95</sub>)
- Espessura óptica "infinita" a 99.9% de extinção (X'∞99.9)

Para todas as variáveis acima, os fatores de variação são:

- Opacidade em dois níveis: Corpo ("B") e Corpo Opaco ("BO")
- Cor em três níveis: A1, A35, e B3
- Marca comercial em três níveis: IPS dSIGN, VINTAGE HALO e NORITAKE EX-3

As tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 abaixo trazem a estatística descritiva e os parâmetros estatísticos para as variáveis dependentes acima citadas.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Espessura óptica a 50% de extinção ( $X_{50}$ )

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	0.298	0.010	7	0.309	0.279	3.4%
		Vintage Halo	0.268	0.009	7	0.283	0.259	3.5%
		Noritake EX-3	0.324	0.010	7	0.337	0.314	3.1%
		Total	0.297	0.025	21	0.337	0.259	8.5%
	A35	IPS dSIGN	0.201	0.003	7	0.204	0.196	1.6%
		Vintage Halo	0.239	0.009	7	0.254	0.231	3.7%
		Noritake EX-3	0.302	0.012	7	0.318	0.283	3.9%
		Total	0.247	0.043	21	0.318	0.196	17.6%
	В3	IPS dSIGN	0.202	0.003	7	0.207	0.197	1.6%
		Vintage Halo	0.247	0.006	7	0.258	0.240	2.6%
		Noritake EX-3	0.316	0.017	7	0.331	0.291	5.5%
		Total	0.255	0.049	21	0.331	0.117	19.4%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	0.166	0.005	7	0.173	0.159	2.7%
		Vintage Halo	0.160	0.011	7	0.172	0.141	6.8%
		Noritake EX-3	0.188	0.006	7	0.195	0.177	3.4%
		Total	0.171	0.014	21	0.195	0.141	8.3%
	A35	IPS dSIGN	0.136	0.004	7	0.142	0.130	3.0%
		Vintage Halo	0.153	0.006	7	0.161	0.145	4.0%
		Noritake EX-3	0.153	0.004	7	0.159	0.146	2.9%
		Total	0.147	0.010	21	0.161	0.130	6.6%
	В3	IPS dSIGN	0.124	0.006	7	0.133	0.117	4.5%
		Vintage Halo	0.168	0.006	7	0.178	0.162	3.5%
		Noritake EX-3	0.190	0.006	7	0.197	0.180	3.0%
		Total	0.161	0.028	21	0.197	0.117	17.7%

Tabela 5.2 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Espessura óptica a 90% de extinção ( $X_{90}$ )

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	1.233	0.039	7	1.276	1.158	3.2%
		Vintage Halo	1.138	0.036	7	1.197	1.103	3.2%
		Noritake EX-3	1.357	0.043	7	1.417	1.311	3.2%
		Total	1.242	0.099	21	1.417	1.103	8.0%
	A35	IPS dSIGN	0.750	0.012	7	0.761	0.733	1.6%
		Vintage Halo	0.900	0.032	7	0.952	0.871	3.5%
		Noritake EX-3	1.138	0.042	7	1.197	1.072	3.7%
		Total	0.929	0.167	21	1.197	0.733	17.9%
	В3	IPS dSIGN	0.766	0.012	7	0.787	0.751	1.5%
		Vintage Halo	0.951	0.025	7	0.997	0.929	2.7%
		Noritake EX-3	1.196	0.062	7	1.248	1.108	5.2%
		Total	0.971	0.184	21	1.248	0.751	19.0%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	0.733	0.022	7	0.764	0.702	3.0%
		Vintage Halo	0.708	0.046	7	0.755	0.627	6.5%
		Noritake EX-3	0.793	0.026	7	0.820	0.750	3.3%
		Total	0.745	0.048	21	0.820	0.627	6.4%
	A35	IPS dSIGN	0.509	0.015	7	0.532	0.488	2.9%
		Vintage Halo	0.578	0.023	7	0.606	0.547	3.9%
		Noritake EX-3	0.575	0.017	7	0.599	0.552	2.9%
		Total	0.554	0.037	21	0.606	0.488	6.7%
	В3	IPS dSIGN	0.464	0.020	7	0.494	0.438	4.3%
		Vintage Halo	0.650	0.022	7	0.687	0.628	3.4%
		Noritake EX-3	0.738	0.022	7	0.766	0.701	3.0%
		Total	0.617	0.119	21	0.766	0.438	19.2%

Tabela 5.3 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Espessura óptica a 95% de extinção ( $X_{95}$ )

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	1.692	0.053	7	1.752	1.593	3.1%
		Vintage Halo	1.574	0.049	7	1.654	1.528	3.1%
		Noritake EX-3	1.868	0.060	7	1.953	1.805	3.2%
		Total	1.712	0.134	21	1.953	1.528	7.8%
	A35	IPS dSIGN	1.003	0.016	7	1.018	0.980	1.6%
		Vintage Halo	1.205	0.042	7	1.274	1.167	3.5%
		Noritake EX-3	1.526	0.056	7	1.604	1.438	3.7%
		Total	1.244	0.224	21	1.604	0.980	18.0%
	В3	IPS dSIGN	1.029	0.016	7	1.057	1.008	1.5%
		Vintage Halo	1.281	0.034	7	1.345	1.254	2.7%
		Noritake EX-3	1.604	0.082	7	1.673	1.488	5.1%
		Total	1.305	0.246	21	1.673	1.008	18.9%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	1.026	0.031	7	1.070	0.981	3.0%
		Vintage Halo	0.991	0.063	7	1.055	0.879	6.4%
		Noritake EX-3	1.095	0.036	7	1.132	1.036	3.3%
		Total	1.037	0.062	21	1.132	0.879	6.0%
	A35	IPS dSIGN	0.682	0.020	7	0.711	0.654	2.9%
		Vintage Halo	0.775	0.030	7	0.811	0.733	3.9%
		Noritake EX-3	0.771	0.022	7	0.804	0.740	2.9%
		Total	0.742	0.050	21	0.811	0.654	6.7%
	В3	IPS dSIGN	0.621	0.027	7	0.661	0.586	4.3%
		Vintage Halo	0.877	0.030	7	0.927	0.848	3.4%
		Noritake EX-3	0.998	0.030	7	1.036	0.947	3.0%
		Total	0.832	0.163	21	1.036	0.586	19.6%

Tabela 5.4 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Espessura óptica infinita a 99.9% de extinção (X'∞<sub>99.9</sub>)

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	4.426	0.132	7	4.580	4.180	3.0%
		VINTAGE HALO	4.186	0.124	7	4.395	4.079	3.0%
		NORITAKE EX-3	4.921	0.162	7	5.158	4.747	3.3%
		Total	4.511	0.341	21	5.158	4.079	7.6%
	A35	IPS dSIGN	2.466	0.039	7	2.508	2.411	1.6%
		VINTAGE HALO	2.973	0.101	7	3.137	2.885	3.4%
		NORITAKE EX-3	3.773	0.136	7	3.961	3.561	3.6%
		Total	3.071	0.560	21	3.961	2.411	18.2%
	В3	IPS dSIGN	2.556	0.039	7	2.625	2.507	1.5%
		VINTAGE HALO	3.210	0.088	7	3.371	3.131	2.7%
		NORITAKE EX-3	3.973	0.196	7	4.139	3.700	4.9%
		Total	3.246	0.605	21	4.139	2.507	18.6%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	2.804	0.089	7	2.929	2.678	3.2%
		VINTAGE HALO	2.712	0.166	7	2.877	2.417	6.1%
		NORITAKE EX-3	2.906	0.094	7	2.994	2.751	3.2%
		Total	2.807	0.141	21	2.994	2.417	5.0%
	A35	IPS dSIGN	1.680	0.048	7	1.751	1.612	2.9%
		VINTAGE HALO	1.915	0.075	7	2.004	1.811	3.9%
		NORITAKE EX-3	1.905	0.054	7	1.987	1.830	2.9%
		Total	1.834	0.125	21	2.004	1.612	6.8%
	В3	IPS dSIGN	1.527	0.064	7	1.623	1.441	4.2%
		VINTAGE HALO	2.202	0.074	7	2.327	2.130	3.4%
		NORITAKE EX-3	2.513	0.076	7	2.610	2.385	3.0%
		Total	2.080	0.427	21	2.610	1.441	20.5%

# 5.1.2.1 modelo experimental.

A tabela 5.5 traz o teste de normalidade de Shapiro Wilk para todos os grupos experimentais

Tabela 5.5 - Teste de normalidade de Shapiro Wilk para todos os grupos experimentais

Grupos	X <sub>50</sub>		X <sub>90</sub>	)	X <sub>95</sub>	•	Х′∞	9.9
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
IPS A1B	0.878	22.1%	0.920	47.3%	0.927	52.8%	0.932	57.2%
IPS A1BO	0.983	97.6%	0.974	92.9%	0.970	90.4%	0.960	82.6%
HALO A1B	0.904	35.9%	0.868	17.9%	0.853	13.3%	0.811	5.4%
HALO A1BO	0.900	33.7%	0.887	26.1%	0.882	23.9%	0.870	18.9%
NORI A1B	0.852	13.1%	0.876	21.3%	0.885	25.0%	0.901	34.0%
NORI A1BO	0.940	64.5%	0.918	45.6%	0.910	40.2%	0.891	28.2%
IPS A35B	0.831	8.2%	0.845	11.1%	0.855	13.7%	0.872	19.7%
IPS A35BO	0.924	50.2%	0.926	51.8%	0.927	53.1%	0.930	55.4%
HALO A35B	0.823	7.0%	0.800	4.1%	0.794	3.6%	0.778	2.5%
HALO A35BO	0.909	39.1%	0.913	42.0%	0.914	42.7%	0.916	44.2%
NORI A35B	0.977	94.7%	0.976	93.9%	0.975	93.5%	0.973	92.2%
NORI A35BO	0.959	81.1%	0.967	88.2%	0.969	89.4%	0.971	91.1%
IPS B3B	0.941	65.5%	0.945	68.9%	0.945	69.1%	0.944	68.3%
IPS B3BO	0.951	74.3%	0.956	78.6%	0.957	79.6%	0.959	81.7%
HALO B3B	0.885	25.3%	0.843	10.7%	0.828	7.7%	0.847	11.6%
HALO B3BO	0.863	16.3%	0.869	18.5%	0.872	19.4%	0.881	23.2%
NORI B3B	0.809	5.0%	0.799	4.0%	0.797	3.8%	0.790	3.3%
NORI B3BO	0.956	79.1%	0.962	83.9%	0.963	84.4%	0.963	84.6%

A tabela acima mostra que os grupos experimentais para todas as variáveis dependentes apresentam normalidade, com exceção dos grupos NORIB3B e HALOA35B para as extinções de 90%, 95% e 99.9%, que apresentam desvios desta condição, com valores de p < 5%. Apesar de nem todas as amostras estarem distribuídas de maneira normal, o teste F da ANOVA é conhecidamente robusto à falta de normalidade (DAY; QUINN, 1989).

O teste de Homogeneidade está disposto na tabela 5.6

Tabela 5.6 - Teste de homogeneidade de Levene para as variáveis dependentes

	F	gl1	gl2	Sig.
X <sub>50</sub>	3.570	17	108	.000
X <sub>90</sub>	3.299	17	108	.000
X <sub>95</sub>	3.294	17	108	.000
X′∞ <sub>99.9</sub>	3.303	17	108	.000

Teste a hipótese nula na qual o erro da variável dependente é igual em todos os grupos

O teste de Homogeneidade de Levene apontou que para as variáveis Espessura a 50% F(17,108)=3.570, a 90% F(17,108)=3.299, a 95% F(17,108)=3.294 e F(17,108)=3.294 para a variável 99.9%, sendo em todos os casos o teste significante, p < 0.05.

a. Design: Intercept + Opacidade + Cor + Marca + Opacidade \* Cor + Opacidade \* Marca + Cor \* Marca + Opacidade \* Cor \* Marca

F (17,108) tabulado = 1.718

Tabela 5.7 - Análise de Variância de três fatores para as variáveis dependentes

	Variável					Sig. (Valor	Observed
Fonte de Variação	Dependente	S.Q.	GL	Q.M.	F	р)	Power <sup>e</sup>
Opacidade	X <sub>50</sub> a	.358	1	.358	5234.630	.000	1.000
	X <sub>90</sub> <sup>b</sup>	5.261	1	5.261	5255.683	.000	1.000
	Х <sub>95</sub> <sup>с</sup>	9.519	1	9.519	5227.415	.000	1.000
	χ′∞ <sub>99.9</sub> <sup><u>d</u></sup>	59.033	1	59.033	5109.801	.000	1.000
Cor	X <sub>50</sub>	.030	2	.015	221.786	.000	1.000
	X <sub>90</sub>	1.485	2	.742	741.643	.000	1.000
	X <sub>95</sub>	3.424	2	1.712	940.087	.000	1.000
	X′∞ <sub>99.9</sub>	34.908	2	17.454	1510.787	.000	1.000
Marca	X <sub>50</sub>	.073	2	.037	534.035	.000	1.000
	X <sub>90</sub>	1.082	2	.541	540.297	.000	1.000
	X <sub>95</sub>	1.960	2	.980	538.167	.000	1.000
	χ′∞ <sub>99.9</sub>	12.196	2	6.098	527.829	.000	1.000
Opacidade * Cor	X <sub>50</sub>	.006	2	.003	43.222	.000	1.000
	X <sub>90</sub>	.127	2	.064	63.439	.000	1.000
	<b>X</b> <sub>95</sub>	.248	2	.124	68.057	.000	1.000
	χ′∞ <sub>99.9</sub>	1.792	2	.896	77.577	.000	1.000
Opacidade * Marca	X <sub>50</sub>	.015	2	.007	109.053	.000	1.000
	X <sub>90</sub>	.224	2	.112	112.060	.000	1.000
	<b>X</b> <sub>95</sub>	.412	2	.206	113.222	.000	1.000
	X′∞ <sub>99.9</sub>	2.685	2	1.343	116.206	.000	1.000
Cor * Marca	X <sub>50</sub>	.020	4	.005	74.949	.000	1.000
	X <sub>90</sub>	.311	4	.078	77.596	.000	1.000
	<b>X</b> <sub>95</sub>	.567	4	.142	77.895	.000	1.000
	X′∞ <sub>99.9</sub>	3.608	4	.902	78.082	.000	1.000
Opacidade * Cor *	X <sub>50</sub>	.006	4	.001	20.240	.000	1.000
Marca	X <sub>90</sub>	.061	4	.015	15.111	.000	1.000
	<b>X</b> <sub>95</sub>	.101	4	.025	13.896	.000	1.000
	X′∞ <sub>99.9</sub>	.540	4	.135	11.691	.000	1.000
Erro (Resíduo)	X <sub>50</sub>	.007	108	.000			
	X <sub>90</sub>	.108	108	.001			
	<b>X</b> <sub>95</sub>	.197	108	.002			
	X′∞ <sub>99.9</sub>	1.248	108	.012			
Total	X <sub>50</sub>	6.233	126				
	X <sub>90</sub>	98.227	126				
	X <sub>95</sub>	181.735	126				
	X′∞ <sub>99.9</sub>	1193.99					

 $<sup>\</sup>mathbf{a}.R^2$ =0.986 ( $R^2$  Ajustado=0.983);  $\mathbf{b}.R^2$ =0.988 ( $R^2$  Ajustado=0.986);  $\mathbf{c}.R^2$ =0.988 ( $R^2$  Ajustado=0.986);  $\mathbf{d}.R^2$ =0.989 ( $R^2$  Ajustado=0.988);  $\mathbf{e}.$  Computado usando alpha = 0.05;  $\mathbf{s}.\mathbf{Q}.$ = Soma dos Quadrados;

GL= Graus de Liberdade; Q.M. = Quadrado Médio

O resultado das ANOVAS acima mostra que para todas as variáveis, todos os fatores principais: Opacidade, Cor e Marca, são significantes p < 0.05.

As interações de dois fatores: Opacidade x Cor, Opacidade x Marca e Cor x Marca são também significantes p < 0.05.

Por fim as interações de três fatores: Opacidade x Cor x Marca são significantes para todas as variáveis p < 0.05.

O valor de R<sup>2</sup>, que mede a predição, ou melhor, o quanto que o modelo proposto explica da variabilidade da variável dependente é de aproximadamente 0.98 ou 98% (valores ajustados) para todas as variáveis. Em outras palavras o modelo de ANOVA proposto explica cerca de 98% da variabilidade das variáveis dependentes.

A coluna "Observed Power" demonstra que o modelo de ANOVA proposto tem suficiente habilidade para detectar corretamente a significância estatística, com valores superiores a 0.80 (COHEN, 1988).

O teste complementar paramétrico de Games-Howell foi aplicado para detectar as diferenças estatísticas existentes entre os grupos experimentais. Este teste foi utilizado, por ser indicado nos casos onde a falta de homogeneidade é detectada (Tabela 5.6) (GAMES; HOWELL, 1976; JACCARD; BECKER; WOOD, 1984).

Como a análise de variância revelou que a interação de três fatores é significante, o resultado dos fatores principais (Quadros 5.1; 5,2; 5.3 e 5.4; A-C) e das interações de dois fatores (Quadros 5.1; 5,2; 5.3 e 5.4; D - F) foram sempre comparados, com a análise da interação de três fatores, pois esta interação sugere que os resultados dos fatores podem não ser os mesmos, levando em consideração seus níveis.

A seguir as comparações pontuais para cada variável dependente será descrita.

A figura 5.1 e a tabela 5.8 baixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável  $X_{50}$ .

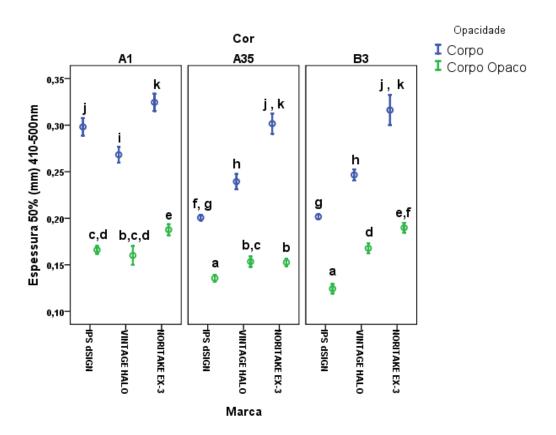
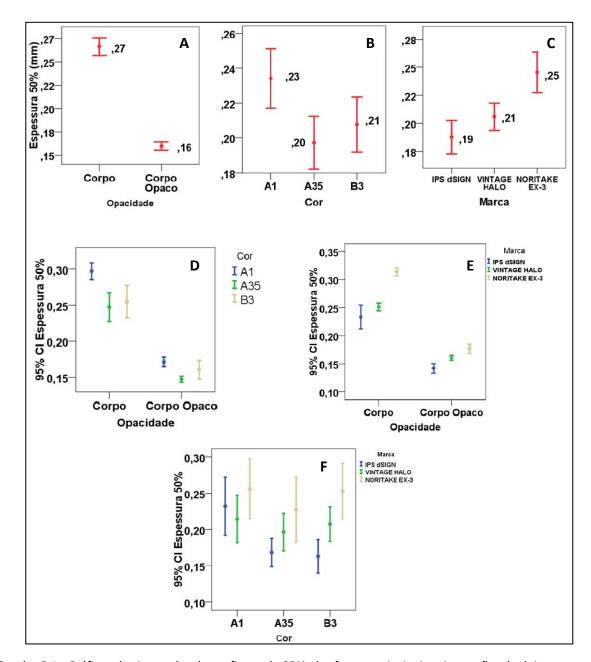


Figura 5.1 – Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **X**<sub>50</sub>

Tabela 5.8 - Múltiplas comparações entre os grupos da Variável X<sub>50</sub>

Cor		A1			A35			В3	
	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
Marca	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
	0.298	0.268	0.324	0.201	0.239	0.302	0.202	0.247	0.316
Corpo "B"	±0.010 <sup>j</sup>	±0.009 <sup>i</sup>	±0.010 <sup>k</sup>	±0.003 <sup>f,g</sup>	±0.009 <sup>h</sup>	±0.012 <sup>j,k</sup>	±0.003 <sup>g</sup>	±0.006 <sup>h</sup>	±0.017 <sup>j,k</sup>
Corpo	0.166	0.160	0.188	0.136	0.153	0.153	0.124	0.168	0.190
Opaco "BO"	±0.005 <sup>c,d</sup>	±0.011 <sup>b,c,d</sup>	±0.006 <sup>e</sup>	$\pm 0.004^{a}$	±0.006 <sup>b,c</sup>	±0.004 <sup>b</sup>	$\pm 0.006^{a}$	±0.006 <sup>d</sup>	$\pm 0.006^{e,f}$

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão. N=7,alpha=0.05



O quadro 5.1 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.1 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **X**<sub>50</sub> 410-500nm. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O fator Opacidade F(1,108)=5234.63, p < 0.05 é significante. O quadro 5.1A mostra que de maneira geral o nível Corpo apresenta valores de Espessura maiores e diferente em relação ao grupo Corpo opaco. Este comportamento pode ser confirmado na Figura 5.1, onde todos os grupos de Corpo, independente da Cor e da Marca do material, apresentam

valores de espessura maiores e diferentes estatisticamente em relação a todos os grupos de Corpo Opaco.

O fator Cor F(2,108)=221.78, p < 0.05 é significante. O quadro 5.1B mostra que de maneira geral a cor A1 apresenta valores de espessura maiores em relação a cor A35, sendo que a cor B3 apresenta valores intermediários entre as duas primeiras. Este comportamento é por sua vez dependente da Marca (Cor\*Marca) a da Opacidade (Opacidade\*Cor) do material como demonstrado pela Figura 5.1.

#### Para as cerâmicas de Corpo:

- A marca IPS apresenta: IPSA1B( $0.298\pm0.010^{j}$ ) > IPSA35B( $0.201\pm0.003^{f,g}$ ) = IPSB3B( $0.202\pm0.003^{g}$ ),
- A marca NORITAKE não apresenta diferença entre as cores, sendo  $NORIA1B(0.324\pm0.010^k) = NORIA35B(0.302\pm0.012^{j,k}) = NORIB3B(0.316\pm0.017^{j,k}).$

#### Para as cerâmicas de Corpo Opaco:

- A marca IPS apresenta o mesmo comportamento das cerâmicas de Corpo,
   sendo IPSA1BO(0.166±0.005<sup>c,d</sup>) > IPSA35BO(0.136±0.004<sup>a</sup>) =
   IPSB3BO(0.124±0.006<sup>a</sup>),
- A marca HALO apresenta diferença de comportamento em relação às cerâmicas de Corpo, sendo HALOA1BO(0.160±0.011<sup>b,c,d</sup>) igual a

165

 ${\sf HALOA35BO}(0.153\pm0.006^{{\sf b,c}})~{\sf e}~{\sf HALOB3BO}(0.168\pm0.006^{{\sf d}}),~{\sf porém}~{\sf HALOA35BO}$ 

< HALOB3BO,

• A marca NORITAKE também apresenta um comportamento diferente em

relação às cerâmicas de Corpo, sendo NORIA1BO(0.188±0.006<sup>e</sup>) =

NORIB3BO $(0.190\pm0.006^{e,f})$  > NORIA35BO $(0.153\pm0.004^{b})$ .

O fator Marca F(2,108)=534.03, p < 0.05 é significante. O quadro 5.1C mostra que de

maneira geral a marca IPS dSIGN apresenta valores de espessura semelhantes a marca

Vintage Halo, e ambas inferiores aos valores da marca Noritake. A Figura 5.1 mostra que

este comportamento não se verifica, da mesma maneira para os níveis dos fatores

Opacidade (Opacidade\*Marca) e Cor (Cor\*Marca).

Para as cerâmicas de Corpo, as marcas com cor A1B apresentam comportamento

diferente das cores A35B e B3B que apresentam o mesmo comportamento entre si, sendo

que para cada cor:

• A cor A1B: NORIA1B > IPSA1B > HALOA1B;

A cor A35: NORIA35B > HALOA35B > IPSA35B;

A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, as três cores apresentam comportamento

distinto, sendo que:

• A cor A1BO: IPSA1BO = HALOA1BO < NORIA1BO,

A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO</li>

A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.</li>

A figura 5.2 e a tabela 5.9 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável  $X_{90}$ .

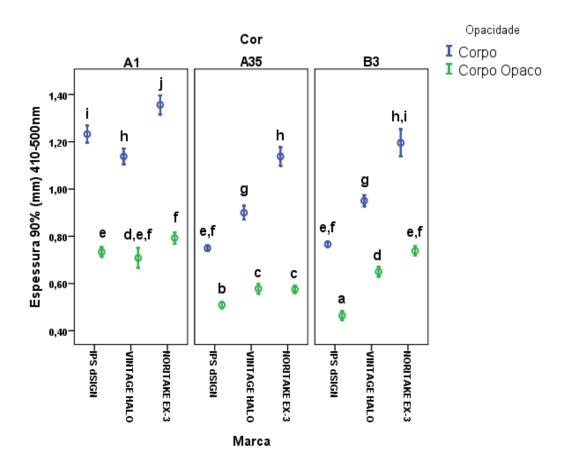


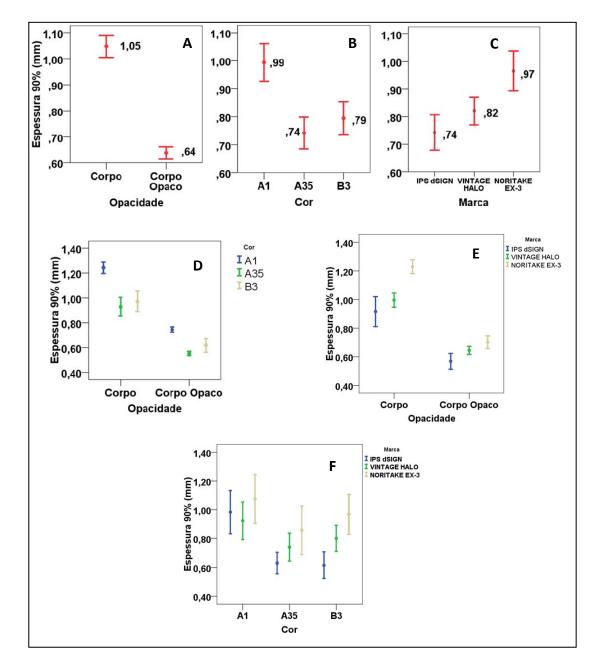
Figura 5.2 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das  $\,$  múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável  $X_{90}$ 

Tabela 5.9 - Múltiplas comparações entre os grupos da Variável X<sub>90</sub>

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	1.233	1.138	1.357	0.750	0.900	1.138	0.766	0.951	1.196
	±0.039 <sup>i</sup>	±0.036 <sup>h</sup>	±0.043 <sup>j</sup>	±0.012 <sup>e,f</sup>	±0.032 <sup>g</sup>	±0.042 <sup>h</sup>	±0.012 <sup>e,f</sup>	±0.025 <sup>g</sup>	±0.062 <sup>h,i</sup>
Corpo Opaco "BO"	0.733	0.708	0.793	0.509	0.575	0.578	0.464	0.650	0.738
	±0.022 <sup>e</sup>	±0.046 <sup>d,e,f</sup>	±0.026 <sup>f</sup>	±0.015 <sup>b</sup>	±0.017°	±0.023°	±0.020 <sup>a</sup>	±0.022 <sup>d</sup>	±0.022 <sup>e,f</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão.

N=7,alpha=0.05



O quadro 5.2 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.2 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **X**<sub>90</sub> 410-500nm. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=5255.68, p < 0.05. O quadro 5.2A mostra que de maneira geral as cerâmicas do tipo Corpo apresentam maiores valores de espessura em relação às cerâmicas do tipo Corpo Opaco.

A Figura 5.2 mostra que, em relação às cerâmicas de mesma cor e marca que todos os grupos do tipo Corpo apresentam valores maiores de espessura em comparação, aos grupos do tipo Corpo Opaco, porém este comportamento é dependente da cor e da marca, sendo que as cerâmicas do tipo corpo IPSA35B e IPSB3B são semelhantes entre si e ambas não diferem estatisticamente das cerâmicas do tipo Corpo Opaco cor A1 (IPSA1BO, HALOA1BO, NORIA1BO) e da cor B3 (NORIB3BO).

O Fator Cor é significante F(2,108)=741.64, p < 0.05. O quadro 5.2B mostra que de maneira geral as cerâmicas da cor A1 apresentam valores de espessura maiores que as cerâmicas das cores A35 e B3.

A Figura 5.2 mostra que este fator é dependente do Fator Opacidade (Opacidade x Cor) e do Fator Marca (Cor x Marca), de maneira que para as cerâmicas do tipo Corpo, esta variável apresenta o mesmo comportamento da variável **X**<sub>50</sub>, com exceção da Marca Noritake, sendo que para:

- A marca IPS: IPSA1B( $1.233\pm0.039^{i}$ ) > IPSA35B( $0.750\pm0.012^{e,f}$ ) = IPSB3B( $0.766\pm0.012^{e,f}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(1.138\pm0.036^{h}) > HALOA35B(0.900\pm0.032^{g}) = HALOB3B(0.951\pm0.025^{g})$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $1.357\pm0.043^{j}$ ) > NORIA35B( $1.138\pm0.042^{h}$ ) = NORIB3B( $1.196\pm0.062^{h,i}$ ).

As cerâmicas do tipo Corpo Opaco apresentam o mesmo comportamento distinto em relação às cerâmicas do tipo Corpo, apresentado pela variável Espessura X<sub>50</sub>, com exceção da marca HALO sendo:

- A marca IPS: IPSA1BO( $0.733\pm0.022^{e}$ ) > IPSA35BO( $0.509\pm0.015^{b}$ ) > IPSB3BO( $0.464\pm0.020^{a}$ ),
- A marca HALO: HALOA1BO( $0.708\pm0.046^{d,e,f}$ ) = HALO B3BO ( $0.650\pm0.022^{d}$ ) > HALO A35BO( $0.575\pm0.017^{c}$ ),
- A marca NORITAKE: NORIA1BO( $0.793\pm0.026^{f}$ ) = NORIB3BO( $0.738\pm0.022^{e,f}$ ) > NORIA35BO( $0.578\pm0.023^{c}$ ).

O Fator Marca F(2,108)=540.29, p < 0.05 é significante. O quadro 5.2C mostra que de maneira geral a marca IPS dSIGN apresenta valores de espessura semelhantes a marca Vintage Halo, e ambas inferiores aos valores da marca Noritake.

A Figura 5.2 mostra que este comportamento é dependente do Fator Opacidade (Opacidade x Marca) e do Fator Cor (Cor x Marca). Para as cerâmicas de Corpo, o comportamento é o mesmo da variável **X**50, sendo que para:

- A cor A1B: NORIA1B > IPSA1B > HALOA1B;
- A cor A35: NORIA35B > HALOA35B > IPSA35B;
- A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco as três cores apresentam comportamento distintos, sendo que as cores A35 e B3 apresentam o mesmo padrão de comportamento apresentado na variável X<sub>50</sub>, sendo que para:

- A cor A1BO: IPSA1BO = HALOA1BO, HALO A1BO = NORIA1BO; IPSA1BO 
   NORI A1BO.
- A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO</li>
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.

A figura 5.3 e a tabela 5.10 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável  $X_{95}$ .

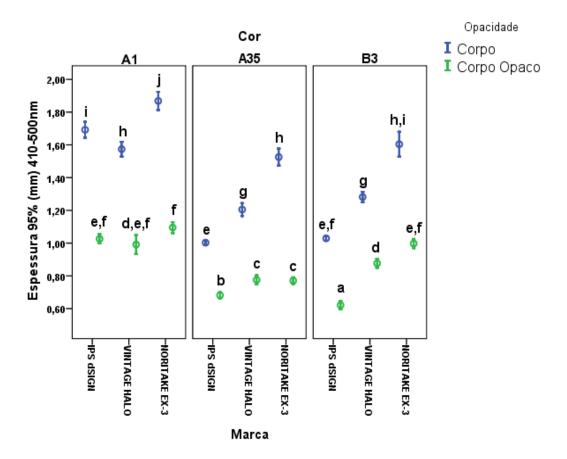
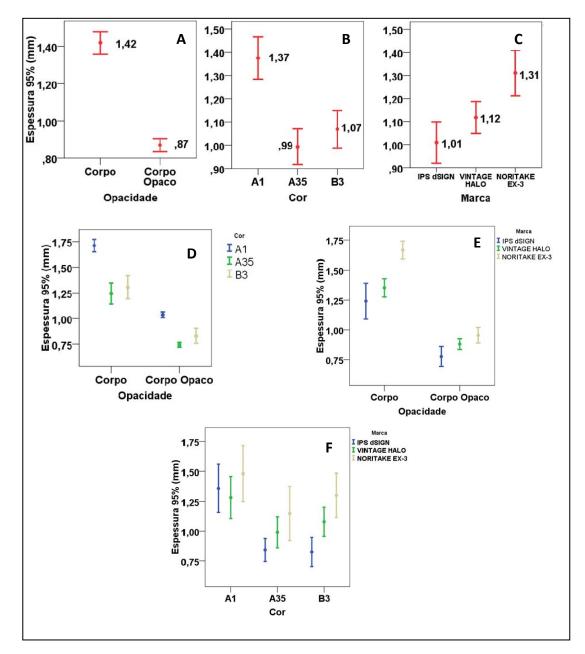


Figura 5.3 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **X**<sub>95</sub>

Tabela - 5.10 Múltiplas comparações entre os grupos da Variável X<sub>95</sub>

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	1.639	1.574	1.868	1.003	1.205	1.526	1.029	1.281	1.604
	±0.053 <sup>i</sup>	±0.049 <sup>h</sup>	±0.060 <sup>j</sup>	±0.016 <sup>e</sup>	±0.042 <sup>g</sup>	±0.056 <sup>h</sup>	±0.016 <sup>e,f</sup>	±0.034 <sup>g</sup>	±0.082 <sup>h,i</sup>
Corpo Opaco	1.026	0.991	1.095	0.682	0.775	0.771	0.621	0.877	0.998
"BO"	±0.031 <sup>e,f</sup>	±0.063 <sup>d,e,f</sup>	±0.036 <sup>f</sup>	±0.020 <sup>b</sup>	±0.030 <sup>c</sup>	±0.022 <sup>c</sup>	±0.027 <sup>a</sup>	±0.030 <sup>d</sup>	±0.030 <sup>e,f</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão. N=7,alpha=0.05



O quadro 5.3 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.3 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **X**<sub>95</sub> 410-500nm. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=5109.80, p < 0.05. O quadro 5.3A, mostra o mesmo comportamento das variáveis anteriores, com o grupo do tipo Corpo com maiores valores de espessura em relação ao grupo do tipo Corpo Opaco.

A Figura 5.3 mostra o mesmo comportamento apresentado na Variável X<sub>90</sub>.

O Fator Cor é significante F(2,108)=940.08, p<0.05 (Quadro 5.3B). O comportamento estatístico deste fator é o mesmo apresentado pelo mesmo na Variável  $X_{90}$ , sendo que para a cerâmica do tipo Corpo (Tabela 5.10, Figura 5.3):

- A marca IPS: IPSA1B( $1.026\pm0.031^{e,f}$ ) > IPSA35B( $1.003\pm0.016^{e}$ ) = IPSB3B( $1.029\pm0.016^{e,f}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(1.574\pm0.049^h) > HALOA35B(1.205\pm0.042^g) = HALOB3B(1.281\pm0.034^g)$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $1.868\pm0.060^{j}$ ) > NORIA35B( $1.526\pm0.056^{h}$ ) = NORIB3B( $1.604\pm0.082^{h,i}$ ).

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco:

- A marca IPS: IPSA1BO $(0.733\pm0.022^{e})$  > IPSA35BO $(0.682\pm0.020^{b})$  > IPSB3BO $(0.621\pm0.027^{a})$ ,
- A marca HALO: HALOA1BO( $0.991\pm0.063^{d,e,f}$ ) = HALO B3BO ( $0.877\pm0.030^{d}$ ) > HALO A35BO( $0.775\pm0.030^{c}$ ),
- A marca NORITAKE: NORIA1BO( $1.095\pm0.036^{f}$ ) = NORIB3BO( $0.998\pm0.030^{e,f}$ ) > NORIA35BO( $0.771\pm0.022^{c}$ ).

O Fator Marca é significante F(2,108)=538.16, p < 0.05, apresentando o mesmo comportamento estatístico da variável  $X_{95}$  de maneira geral com exceção da das cerâmicas do tipo Corpo Opaco A1(Tabela 5.10, Figura 5.3).

Para as cerâmicas do tipo Corpo:

- A cor A1B : NORIA1B > IPSA1B > HALOA1B;
- A cor A35: NORIA35B > HALOA35B > IPSA35B;
- A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco:

- A cor A1BO: IPSA1BO = HALOA1BO = NORIA1BO
- A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.

A figura 5.4 e a tabela 5.11 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável X'∞99.9.

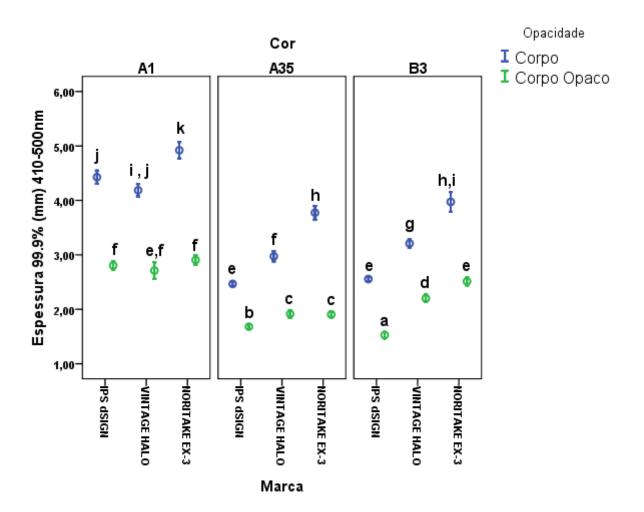


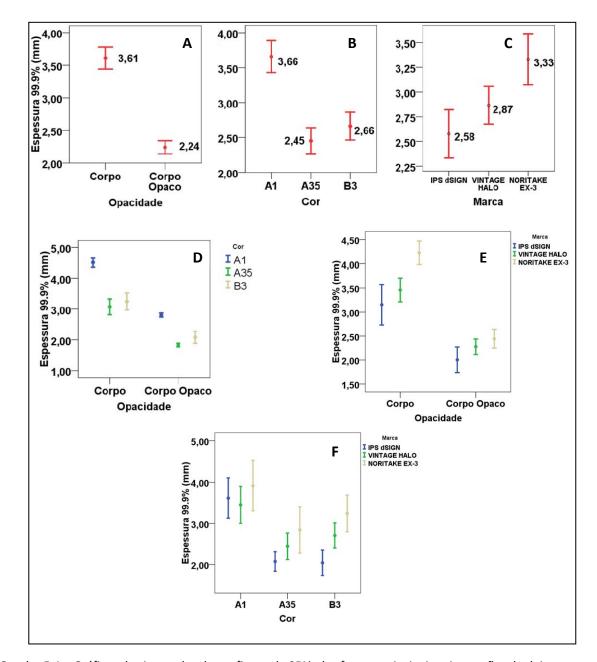
Figura 5.4 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável Espessura "infinita" X'∞99.9

Tabela 5.11 - Múltiplas comparações entre os grupos da Variável Espessura "Infinita" X'∞99,9

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS dSIGN	Vintage Halo	Noritake EX3	IPS dSIGN	Vintage Halo	Noritake EX3	IPS dSIGN	Vintage Halo	Noritake EX3
Marca	asign	паю	EX3	asign	паю	EX3	asigiv	паю	EX3
	4.426	4.186	4.921	2.466	2.973	3.773	2.556	3.210	3.973
Corpo "B"	±0.132 <sup>j</sup>	±0.124 <sup>i,j</sup>	±0.162 <sup>k</sup>	±0.039 <sup>e</sup>	±0.101 <sup>f</sup>	±0.136 <sup>h</sup>	±0.039 <sup>e</sup>	±0.088 <sup>g</sup>	±0.196 <sup>h,i</sup>
Corpo Opaco	2.804	2.712	2.906	1.680	1.915	1.905	1.527	2.202	2.513
"BO"	±0.089 <sup>f</sup>	±0.166 <sup>e,f</sup>	±0.094 <sup>f</sup>	±0.048 <sup>b</sup>	±0.075°	±0.054 <sup>c</sup>	$\pm 0.064^{a}$	±0.074 <sup>d</sup>	±0.076 <sup>e</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão.

N=7,alpha=0.05



O quadro 5.4 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.4 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para X'∞<sub>99.9</sub> 410-500nm. A − Fator Opacidade; B − Fator Cor; C − Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E − Fator Opacidade\*Marca; F − Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=5109.80, p<0.05. De maneira geral o comportamento das cerâmicas do tipo Corpo em relação as cerâmicas do tipo Opaco é o mesmo apresentado pelas variáveis  $X_{90}$  e  $X_{95}$  (Quadro 5.4A).

O Fator Cor é significante F(2,108)=1510.78, p < 0.05 (Quadro 5.4B). O comportamento estatístico deste fator é o mesmo ao apresentado pelas variáveis  $X_{90}$  e  $X_{95}$  com três exceções: a cerâmica Halo do tipo Corpo e Corpo Opaco e, a cerâmica NORITAKE do tipo Corpo Opaco (Tabela 5.11 e Figura 5.4).

# Para as cerâmicas do tipo corpo:

- A marca IPS: IPSA1B( $4.426\pm0.132^{j}$ ) > IPSA35B( $2.466\pm0.039^{e}$ ) = IPSB3B( $2.556\pm0.039^{e}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(4.186\pm0.124^{i,j}) > HALOB3B(3.210\pm0.088^g) > HALOA35B(2.973\pm0.101^f)$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $4.921\pm0.162^{k}$ ) > NORIA35B( $3.773\pm0.136^{h}$ ) = NORIB3B( $3.973\pm0.196^{h,i}$ ).

#### Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco:

- A marca IPS: IPSA1BO( $2.804\pm0.089^{f}$ ) > IPSA35BO( $1.680\pm0.048^{b}$ ) > IPSB3BO( $1.527\pm0.064^{a}$ ),
- A marca HALO: HALOA1BO( $2.712\pm0.166^{e,f}$ ) > HALO A35BO( $1.915\pm0.075^{c}$ ) > HALO B3BO ( $2.202\pm0.074^{d}$ ),
- A marca NORITAKE: NORIA1BO(2.906±0.094<sup>f</sup>) > NORIB3BO(2.513±0.076<sup>e</sup>) > NORIA35BO(1.905±0.054<sup>c</sup>).

O Fator Marca é significante F(2,108)=527.82, p < 0.05 (Quadro 5.4C), apresentando o mesmo comportamento estatístico da variável  $X_{95}$ , com exceção da cor A1 do tipo Corpo (Tabela 5.11 e Figura 5.4).

# Para as cerâmicas do tipo Corpo:

177

- A cor A1B: NORIA1B > IPSA1B = HALOA1B;
- A cor A35: NORIA35B > HALOA35B > IPSA35B;
- A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco:

- A cor A1BO: IPSA1BO = HALOA1BO = NORIA1BO
- A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO</li>
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.</li>

5.1.3 análises dos parâmetros de translucidez nas espessuras estimadas de 0.5mm ( $TP_{0.5}$ ), 1.25mm ( $TP_{1.25}$ ), 2.0mm ( $TP_{2.00}$ ) e da espessura óptica "infinita" (99.9%) ( $X\infty$ ) no intervalo de comprimento de onda de 410 a 700nm.

Para estas análises, este trabalho possui quatro variáveis dependentes:

- Parâmetro de Translucidez (TP) para 0.5mm de espessura (TP<sub>0.5</sub>)
- Parâmetro de Translucidez (TP) para 1.25mm de espessura (TP<sub>1.25</sub>)
- Parâmetro de Translucidez (TP) para 2.00mm de espessura (TP<sub>2.00</sub>)
- Espessura óptica "infinita" a 99.9% de extinção (X∞)

Para todas as variáveis acima, os fatores de variação são:

- Opacidade em dois níveis: Corpo e Corpo Opaco
- Cor em três níveis: A1, A35, e B3
- Marca comercial em três níveis: IPS dSIGN, VINTAGE HALO e NORITAKE EX-3

As tabelas 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 abaixo trazem a estatística descritiva e os parâmetros estatísticos para as variáveis dependentes acima citadas.

Tabela 5.12 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Parâmetro de Translucidez para 0.5mm (**TP**<sub>0.5</sub>)

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	30.174	0.658	7	30.649	28.909	2.18%
		Vintage Halo	24.560	0.620	7	25.498	23.885	2.52%
		Noritake EX-3	28.216	0.462	7	28.690	27.537	1.64%
		Total	27.650	2.448	21	30.649	23.885	8.85%
	A35	IPS dSIGN	26.108	0.338	7	26.679	25.643	1.29%
		Vintage Halo	25.110	0.712	7	26.359	24.219	2.84%
		Noritake EX-3	29.622	0.942	7	30.832	28.104	3.18%
		Total	26.947	2.094	21	30.832	24.219	7.77%
	В3	IPS dSIGN	25.411	0.619	7	26.013	24.366	2.43%
		Vintage Halo	24.909	0.653	7	26.125	24.065	2.62%
		Noritake EX-3	30.564	0.923	7	31.523	29.246	3.02%
		Total	26.961	2.711	21	31.523	24.065	10.06%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	19.965	0.175	7	20.162	19.698	0.88%
		Vintage Halo	15.670	0.914	7	16.650	14.166	5.83%
		Noritake EX-3	20.149	0.336	7	20.587	19.690	1.67%
		Total	18.595	2.188	21	20.587	14.166	11.77%
	A35	IPS dSIGN	15.222	0.596	7	15.758	14.358	3.91%
		Vintage Halo	16.569	0.225	7	16.758	16.092	1.36%
		Noritake EX-3	17.164	0.588	7	18.348	16.687	3.43%
		Total	16.318	0.958	21	18.348	14.358	5.87%
	В3	IPS dSIGN	14.538	0.435	7	15.112	13.991	2.99%
		Vintage Halo	18.283	0.532	7	19.383	17.675	2.91%
		Noritake EX-3	21.786	0.293	7	22.115	21.388	1.34%
		Total	18.202	3.060	21	22.115	13.991	16.81%

Tabela 5.13 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Parâmetro de Translucidez para 1.25mm (**TP**<sub>1.25</sub>)

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	16.811	0.555	7	17.225	15.730	3.30%
		Vintage Halo	12.784	0.481	7	13.529	12.278	3.76%
		Noritake EX-3	14.827	0.433	7	15.397	14.204	2.92%
		Total	14.808	1.748	21	17.225	12.278	11.80%
	A35	IPS dSIGN	13.123	0.192	7	13.466	12.915	1.47%
		Vintage Halo	12.330	0.545	7	13.235	11.620	4.42%
		Noritake EX-3	15.724	1.006	7	16.988	14.071	6.40%
		Total	13.726	1.616	21	16.988	11.620	11.77%
	В3	IPS dSIGN	12.494	0.537	7	13.023	11.558	4.30%
		Vintage Halo	12.807	0.523	7	13.801	12.204	4.08%
		Noritake EX-3	17.091	0.773	7	17.856	15.846	4.52%
		Total	14.130	1.905	21	17.856	11.558	13.48%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	9.214	0.182	7	9.491	8.927	1.98%
		Vintage Halo	6.492	0.592	7	7.137	5.513	9.11%
		Noritake EX-3	10.095	0.248	7	10.478	9.735	2.46%
		Total	8.600	1.613	21	10.478	5.513	18.76%
	A35	IPS dSIGN	5.410	0.294	7	5.771	4.938	5.43%
		Vintage Halo	5.747	0.105	7	5.899	5.636	1.82%
		Noritake EX-3	5.937	0.358	7	6.672	5.619	6.03%
		Total	5.698	0.342	21	6.672	4.938	6.00%
	В3	IPS dSIGN	4.620	0.119	7	4.785	4.468	2.57%
		Vintage Halo	7.798	0.415	7	8.666	7.372	5.32%
		Noritake EX-3	10.936	0.270	7	11.225	10.542	2.47%
		Total	7.785	2.656	21	11.225	4.468	34.12%

Tabela 5.14 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Parâmetro de Translucidez para 2.00mm (**TP**<sub>2.00</sub>)

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	10.524	0.492	7	10.929	9.552	4.67%
		Vintage Halo	7.884	0.420	7	8.560	7.464	5.32%
		Noritake EX-3	9.064	0.443	7	9.727	8.483	4.89%
		Total	9.157	1.186	21	10.929	7.464	12.95%
	A35	IPS dSIGN	6.507	0.091	7	6.672	6.416	1.40%
		Vintage Halo	6.387	0.413	7	7.050	5.860	6.47%
		Noritake EX-3	9.054	0.940	7	10.253	7.540	10.39%
		Total	7.316	1.381	21	10.253	5.860	18.88%
	В3	IPS dSIGN	6.034	0.400	7	6.487	5.321	6.62%
		Vintage Halo	7.143	0.412	7	7.939	6.721	5.77%
		Noritake EX-3	10.465	0.740	7	11.142	9.247	7.07%
		Total	7.880	1.996	21	11.142	5.321	25.33%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	4.589	0.188	7	4.883	4.269	4.10%
		Vintage Halo	2.988	0.409	7	3.411	2.305	13.70%
		Noritake EX-3	5.460	0.208	7	5.794	5.106	3.81%
		Total	4.345	1.083	21	5.794	2.305	24.92%
	A35	IPS dSIGN	1.916	0.148	7	2.111	1.660	7.71%
		Vintage Halo	1.962	0.074	7	2.079	1.866	3.76%
		Noritake EX-3	2.029	0.170	7	2.380	1.868	8.36%
		Total	1.969	0.138	21	2.380	1.660	7.01%
	В3	IPS dSIGN	1.404	0.049	7	1.493	1.351	3.50%
		Vintage Halo	3.329	0.281	7	3.915	3.064	8.43%
		Noritake EX-3	5.697	0.246	7	5.979	5.305	4.32%
		Total	3.477	1.810	21	5.979	1.351	52.06%

Tabela 5.15 - Estatística descritiva e parâmetros estatísticos para variável dependente Espessura Óptica "Infinita" (99.9%) (**X∞**)

Opacidade	Cor	Marca	Média	Desvio Padrão	N	Máximo	Mínimo	Cv
Corpo	A1	IPS dSIGN	7.186	0.234	7	7.432	6.739	3.25%
		Vintage Halo	6.615	0.236	7	7.029	6.424	3.57%
		Noritake EX-3	7.103	0.320	7	7.631	6.767	4.50%
		Total	6.968	0.361	21	7.631	6.424	5.18%
	A35	IPS dSIGN	4.697	0.022	7	4.725	4.666	0.47%
		Vintage Halo	4.925	0.149	7	5.155	4.761	3.02%
		Noritake EX-3	5.904	0.345	7	6.351	5.364	5.85%
		Total	5.175	0.574	21	6.351	4.666	11.09%
	В3	IPS dSIGN	4.721	0.127	7	4.887	4.489	2.68%
		Vintage Halo	5.414	0.165	7	5.733	5.245	3.05%
		Noritake EX-3	6.421	0.303	7	6.673	5.916	4.72%
		Total	5.519	0.742	21	6.673	4.489	13.44%
Corpo Opaco	A1	IPS dSIGN	4.803	0.135	7	5.011	4.567	2.82%
		Vintage Halo	4.167	0.252	7	4.412	3.735	6.04%
		Noritake EX-3	5.088	0.110	7	5.260	4.885	2.17%
		Total	4.686	0.428	21	5.260	3.735	9.13%
	A35	IPS dSIGN	2.977	0.072	7	3.071	2.839	2.41%
		Vintage Halo	3.129	0.058	7	3.216	3.039	1.86%
		Noritake EX-3	3.088	0.059	7	3.192	3.007	1.90%
		Total	3.065	0.089	21	3.216	2.839	2.90%
	В3	IPS dSIGN	2.729	0.036	7	2.794	2.691	1.31%
		Vintage Halo	3.832	0.120	7	4.067	3.702	3.12%
		Noritake EX-3	4.821	0.128	7	4.979	4.613	2.65%
		Total	3.794	0.881	21	4.979	2.691	23.22%

## 5.1.3.1 Modelo Experimental.

O modelo estatístico escolhido para a análise dos dados deste estudo experimental foi o teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) de três fatores independentes (Opacidade, Cor e Marca), para cada variável dependente: **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub>.

A tabela 5.16 traz o teste de normalidade de Shapiro Wilk para os grupos experimentais das variáveis **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub>.

Tabela 5.16 - Teste de normalidade de Shapiro Wilk para as variáveis de Parâmetro de Translucidez (TP)

Grupos	TP <sub>0.5</sub>	5	TP <sub>1.2</sub>	.5	TP <sub>2.0</sub>	0
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
IPS A1B	0.755	1.4%	0.745	1.1%	0.778	2.5%
IPS A1BO	0.942	65.3%	0.986	98.3%	0.963	84.7%
HALO A1B	0.923	49.5%	0.920	46.8%	0.913	41.9%
HALO A1BO	0.909	39.2%	0.910	39.7%	0.890	27.3%
NORI A1B	0.870	18.4%	0.955	77.7%	0.971	90.2%
NORI A1BO	0.911	40.4%	0.971	90.5%	0.948	71.3%
IPS A35B	0.975	93.0%	0.903	34.9%	0.845	11.0%
IPS A35BO	0.821	6.6%	0.874	20.3%	0.906	36.8%
HALO A35B	0.962	84.0%	0.975	93.0%	0.964	85.1%
HALO A35BO	0.777	2.4%	0.887	26.1%	0.948	70.8%
NORI A35B	0.971	90.5%	0.965	85.9%	0.963	84.6%
NORI A35BO	0.810	5.1%	0.820	6.4%	0.828	7.7%
IPS B3B	0.905	36.4%	0.902	34.5%	0.933	57.9%
IPS B3BO	0.923	49.2%	0.945	68.2%	0.906	37.1%
HALO B3B	0.944	67.6%	0.924	50.4%	0.895	30.3%
HALO B3BO	0.826	7.3%	0.807	4.8%	0.802	4.2%
NORI B3B	0.856	13.9%	0.859	14.7%	0.827	7.5%
NORI B3BO	0.892	28.6%	0.892	28.6%	0.944	67.1%

A tabela acima mostra que os grupos experimentais para todas as variáveis dependentes apresentam normalidade com valores de p > 5%, com exceção dos grupos IPSA1B ( $TP_{0.5}$ ,  $TP_{1.25}$  e  $TP_{2.00}$ ) e HALOB3BO ( $TP_{1.25}$ ,  $TP_{2.00}$ ), que apresentam desvios desta condição, com valores de p < 5%.

O teste de Homogeneidade está disposto na tabela 5.6

Tabela 5.17 - Teste de homogeneidade de Levene para as variáveis dependentes de Parâmetro de Translucidez

	F	gl1	gl2	Sig.
TP <sub>0.5</sub>	2.114	17	108	0.01
TP <sub>1.25</sub>	3.494	17	108	0.00
TP <sub>2.00</sub>	5.212	17	108	0.00

Teste a hipótese nula na qual o erro da variável dependente é igual em todos os grupos

a. Design: Intercept + Opacidade + Cor + Marca + Opacidade \* Cor + Opacidade \* Marca + Cor \* Marca + Opacidade \* Cor \* Marca

F (17,108) tabulado = 1.718

O teste de Homogeneidade de Levene apontou que para as variáveis  $TP_{0.5}$  F(17,108)=2.114,  $TP_{1.25}$  F(17,108)=3.494 e  $TP_{2.00}$  F(17,108)=5.212 ,sendo em todos os casos o teste significante, p < 0.05.

Tabela 5.18 - Teste de normalidade de Shapiro Wilk para a variável Espessura Óptica "Infinita" (X∞)

Grupos	Statistic	Sig.
IPS A1B	0.907	37.5%
IPS A1BO	0.952	74.7%
HALO A1B	0.834	8.8%
HALO A1BO	0.870	18.7%
NORI A1B	0.922	48.4%
NORI A1BO	0.892	28.4%
IPS A35B	0.944	67.4%
IPS A35BO	0.919	45.9%
HALO A35B	0.884	24.6%
HALO A35BO	0.998	100.0%
NORI A35B	0.962	83.3%
NORI A35BO	0.946	69.6%
IPS B3B	0.941	64.5%
IPS B3BO	0.867	17.3%
HALO B3B	0.888	26.3%
HALO B3BO	0.871	19.1%
NORI B3B	0.801	4.2%
NORI B3BO	0.966	86.5%

A tabela acima mostra a normalidade dos dados (p > 5%) para todos os grupos experimentais com exceção do grupo NORI B3B com valor p = 4.2%.

Tabela 5.19 - Teste de homogeneidade de Levene para a variável X∞

	F	gl1	gl2	Sig.
χ∞	4.801	17	108	0.00

Teste a hipótese nula na qual o erro da variável dependente é igual em todos os grupos

a. Design: Intercept + Opacidade + Cor + Marca + Opacidade \* Cor + Opacidade \* Marca + Cor \* Marca + Opacidade \* Cor \* Marca

F (17,108) tabulado = 1.718

O teste de Homogeneidade de Levene apontou que para a variável Espessura Óptica Infinita F(17,108)=4.801, sendo o teste significante, p < 0.05.

Tabela 5.20 - ANOVA de três fatores para as variáveis Parâmetro de Translucidez

	Variável						Observed
Fonte de Variação	Dependente	S.Q.	GL	Q.M.	F	Sig. (Valor p)	Power <sup>d</sup>
Opacidade	TP <sub>0.5</sub> <sup>a</sup>	2831.527	1	2831.527	7853.807	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub> <sup>b</sup>	1482.439	1	1482.439	6411.579	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub> <sup>c</sup>	742.209	1	742.209	4454.692	.000	1.000
Cor	TP <sub>0.5</sub>	47.785	2	23.892	66.270	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub>	85.094	2	42.547	184.017	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	93.404	2	46.702	280.301	.000	1.000
Marca	TP <sub>0.5</sub>	311.220	2	155.610	431.615	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub>	178.303	2	89.152	385.583	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	102.684	2	51.342	308.151	.000	1.000
Opacidade * Cor	TP <sub>0.5</sub>	21.205	2	10.602	29.408	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub>	21.565	2	10.783	46.635	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	4.699	2	2.349	14.100	.000	.998
Opacidade * Marca	TP <sub>0.5</sub>	37.816	2	18.908	52.446	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub>	16.395	2	8.197	35.453	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	3.598	2	1.799	10.797	.000	.989
Cor * Cerâmica	TP <sub>0.5</sub>	239.048	4	59.762	165.762	.000	1.000
	TP <sub>1.25</sub>	157.538	4	39.385	170.339	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	88.541	4	22.135	132.854	.000	1.000
Opacidade * Cor *	TP <sub>0.5</sub>	29.131	4	7.283	20.200	.000	1.000
Marca	TP <sub>1.25</sub>	31.053	4	7.763	33.576	.000	1.000
	TP <sub>2.00</sub>	22.647	4	5.662	33.981	.000	1.000
Erro (Resíduo)	TP <sub>0.5</sub>	38.937	108	.361			
	TP <sub>1.25</sub>	24.971	108	.231			
	TP <sub>2.00</sub>	17.994	108	.167			
Total	TP <sub>0.5</sub>	67035.65	126				
	TP <sub>1.25</sub>	16669.73	126				
	TP <sub>2.00</sub>	5156.291	126				

**a.** R2= .989 (R2 Ajustado= .987); **b.** R2 = .987 (R2 Ajustado= .986) ; **c.** R2 = .983 (R2 Ajustado= .981);

O resultado das ANOVAS acima mostra que para todas as variáveis, todos os fatores principais: Opacidade, Cor e Marca, são significantes p < 0.05.

As interações de dois fatores: Opacidade x Cor, Opacidade x Marca e Cor x Marca são também significantes p < 0.05.

**d.** Computado usando alfa = .05 ;**S.Q**.= Soma dos Quadrados; **GL**= Graus de Liberdade; **Q.M.** = Quadrado Médio.

Por fim as interações de três fatores: Opacidade x Cor x Marca são significantes para todas as variáveis p < 0.05.

O valor de R<sup>2</sup>, que mede a predição, ou melhor, o quanto que o modelo proposto explica da variabilidade da variável dependente é de aproximadamente 0.98 ou 98% (valores ajustados) para todas as variáveis. Em outras palavras o modelo de ANOVA proposto explica cerca de 98% da variabilidade das variáveis dependentes. Este mesmo modelo ainda tem a sensibilidade de detectar corretamente a significância dos fatores envolvidos com valores de "Observed Power" maiores de 0.80.

O teste complementar paramétrico de Games-Howell foi aplicado para detectar as diferenças estatísticas existentes entre os grupos experimentais. Este teste foi utilizado, pela falta de homogeneidade das variâncias (Tabela 5.17).

A figura 5.5 e a tabela 5.21 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável **TP**<sub>0.5</sub>.

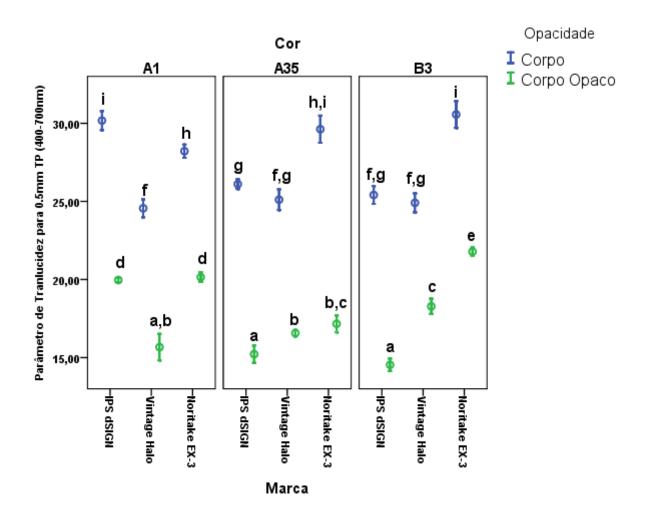


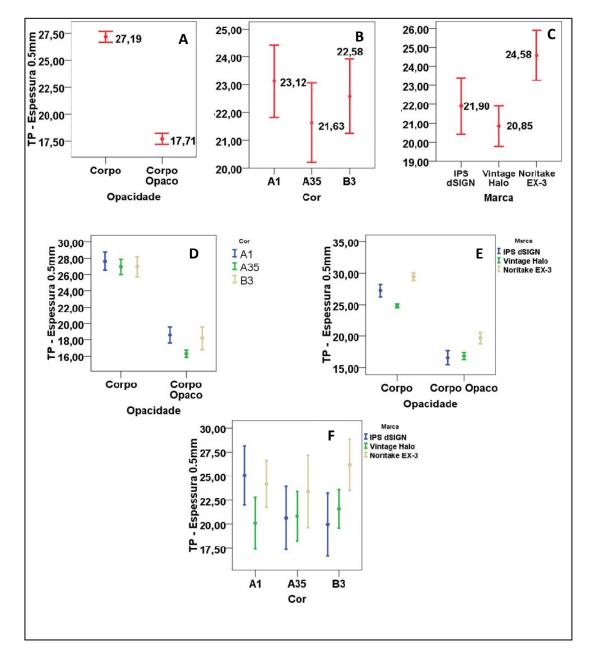
Figura 5.5 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **TP**<sub>0.5</sub>

Tabela 5.21 - Múltiplas comparações entre os grupos para variável dependente  ${\bf TP_{0.5}}$ 

Cor	A1			A35			В3		
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	30.17*	24.56*	28.21*	26.10*	25.11*	29.62*	25.41*	24.90*	30.56*
	±0.65 <sup>i</sup>	±0.62 <sup>f</sup>	±0.46 <sup>h</sup>	±0.33 <sup>g</sup>	±0.71 <sup>f,g</sup>	±0.94 <sup>h,i</sup>	±0.61 <sup>f,g</sup>	±0.65 <sup>f,g</sup>	±0.92 <sup>i</sup>
Corpo Opaco	19.96*	15.67*	20.14*	15.22*	16.56*	17.16*	14.53*	18.28*	21.78*
"BO"	±0.17 <sup>d</sup>	±0.91 <sup>a,b</sup>	±0.33 <sup>d</sup>	±0.59 <sup>a</sup>	±0.22 <sup>b</sup>	±0.58 <sup>b,c</sup>	±0.43 <sup>a</sup>	±0.53°	±0.29 <sup>e</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão.

N=7,alpha=0.05;\* Valores maiores que 3.3



O quadro 5.5 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.5 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **TP**<sub>0.5</sub>. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=7853.80, p < 0.05. O quadro 5.5A mostra que o grupo Corpo apresenta valores de TP maiores que o grupo Corpo Opaco. A Figura 5.5 e a tabela 5.21 mostram que todos os grupos do tipo Corpo apresentam valores de TP maiores

e diferentes estatisticamente, em relação a todos os grupos do tipo Corpo Opaco, independente da Cor e da Marca de cerâmica.

O Fator Cor é significante F(2,108)=66.27, p < 0.05. O quadro 5.5B mostra que de maneira geral os valores de TP são semelhantes entre as três cores. A Figura 5.5 mostra que o comportamento dos níveis de cor é dependente dos Fatores Marca e Opacidade, de maneira que:

Para as cerâmicas do tipo corpo:

- A marca IPS: IPSA1B( $30.174\pm0.658^{i}$ ) > IPSA35B( $26.108\pm0.338^{g}$ ) = IPSB3B( $25.411\pm0.619^{f,g}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(24.560\pm0.620^{f}) = HALOB3B(24.909\pm0.653^{f,g}) = HALOA35B(25.110\pm0.712^{f,g})$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $28.216\pm0.462^h$ ) = NORIA35B( $29.622\pm0.942^{h,i}$ ) = NORIB3B( $30.564\pm0.923^i$ ); NORIA1B( $28.216\pm0.462^h$ ) < NORIB3B( $30.564\pm0.923^i$ )

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco a marca IPS apresenta o mesmo comportamento em relação à mesma cor do grupo Corpo, por outro lado as marcas Halo e Noritake, apresentaram um comportamento diferente, de maneira que:

- A marca IPS: IPSA1BO( $19.965\pm0.175^{d}$ ) > IPSA35BO( $15.222\pm0.596^{a}$ ) = IPSB3BO( $14.538\pm0.435^{a}$ ),
- A marca HALO: HALOA1BO(15.670±0.914<sup>a,b</sup>) = HALO A35BO(16.569±0.225<sup>b</sup>) <</li>
   HALO B3BO (18.283±0.532<sup>c</sup>),

189

• A marca NORITAKE: NORIB3BO(21.786±0.293<sup>e</sup>) > NORIA1BO(20.149±0.336<sup>d</sup>)

> NORIA35BO(17.164±0.588<sup>b,c</sup>).

O Fator Marca é significante F(2,108)=431.61, p < 0.05. O quadro 5.5C mostra que de

maneira geral A marca IPS dSIGN apresenta valores de TP semelhantes as marcas HALO e

NORITAKE, sendo NORITAKE apresentou valores maiores de TP em relação a marca HALO. A

Figura 5.5 mostra que o comportamento deste fator é dependente dos Fatores Opacidade e

Cor.

Para as cerâmicas do tipo Corpo:

• A cor A1B: IPSA1B > NORIA1B > HALOA1B;

• A cor A35: NORIA35B > IPSA35B = HALOA35B

A cor B3: NORIB3B > IPSB3B = HALOB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as cores apresentam comportamento

diferente em relação aos grupos do tipo Corpo.

A cor A1BO: IPSA1BO = NORIA1BO > HALOA1BO

• A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO

A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.</li>

A figura 5.6 e a tabela 5.22 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável **TP**<sub>1.25</sub>.

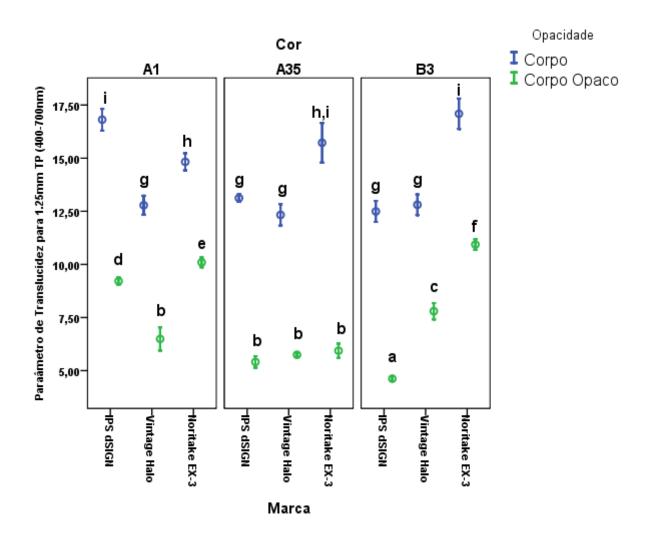
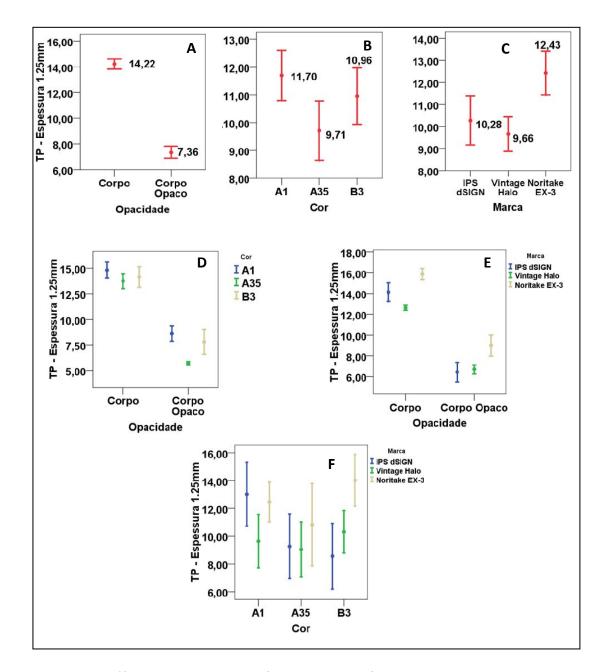


Figura 5.6 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **TP**<sub>1.25</sub>

Tabela 5.22 - Múltiplas comparações entre os grupos para variável dependente TP<sub>1.25</sub>

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	16.81*	12.78*	14.82*	13.12*	12.33*	15.72*	12.49*	12.80*	17.09*
	±0.55 <sup>i</sup>	±0.48 <sup>g</sup>	±0.43 <sup>h</sup>	±0.19 <sup>g</sup>	±0.54 <sup>g</sup>	±1.00 <sup>h,i</sup>	±0.53 <sup>g</sup>	±0.52 <sup>g</sup>	±0.77 <sup>i</sup>
Corpo Opaco	9.214*	6.492*	10.09*	5.41*	5.74*	5.93*	4.62*	7.79*	10.93*
"BO"	±0.18 <sup>d</sup>	±0.59 <sup>b</sup>	±0.24 <sup>e</sup>	±0.29 <sup>b</sup>	±0.10 <sup>b</sup>	±0.35 <sup>b</sup>	±0.11 <sup>a</sup>	±0.41°	±0.27 <sup>f</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão; N=7,alpha=0.05;\*Valores maiores que 3.3



O quadro 5.6 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.6 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95%, dos fatores principais e interações de dois fatores para **TP**<sub>1.25</sub>. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=6411.57, p < 0.05. O quadro 5.6A mostra que o grupo Corpo apresenta valores de TP maiores que o grupo Corpo Opaco. A Figura 5.6 e a tabela 5.22 mostram que todos os grupos do tipo Corpo apresentam valores de TP maiores e diferentes estatisticamente, em relação a todos os grupos do tipo Corpo Opaco,

independente da Cor e da Marca de cerâmica, o mesmo comportamento estatístico da variável TP 0.5mm.

O Fator Cor é significante F(2,108)=184.017, p < 0.05. O quadro 5.6B mostra que de maneira geral os valores de TP são diferentes entre as cores A1 e A35, sendo ambas as cores semelhantes a B3. A Figura 5.6 mostra que o comportamento dos níveis de cor é dependente dos Fatores Marca (Cor x Marca) e Opacidade (Opacidade x Cor), de maneira que:

Para as cerâmicas do tipo corpo, o comportamento de todas as marcas é o mesmo apresentado para a variável  $\mathbf{TP}_{0.5}$ :

- A marca IPS: IPSA1B( $16.811\pm0.555^{i}$ ) > IPSA35B( $13.123\pm0.192^{g}$ ) = IPSB3B( $12.494\pm0.537^{g}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(12.784\pm0.481^g) = HALOB3B(12.807\pm0.523^g) = HALOA35B(12.330\pm0.545^g)$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $14.827\pm0.433^h$ ) = NORIA35B( $15.724\pm1.006^{h,i}$ ) = NORIB3B( $17.091\pm0.773^i$ ); NORIA1B( $14.827\pm0.433^h$ ) < NORIB3B( $17.091\pm0.773^i$ )

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as marcas apresentam comportamento diferente em relação às cerâmicas do tipo Corpo. Em relação à variável **TP**<sub>0.5</sub> a marca IPS apresenta um comportamento diferente e as marcas HALO e NORITAKE o mesmo.

• A marca IPS: IPSA1BO( $9.214\pm0.182^{d}$ ) > IPSA35BO( $5.410\pm0.294^{b}$ ) > IPSB3BO( $4.620\pm0.119^{a}$ ),

- A marca HALO: HALOA1BO(6.492±0.592<sup>b</sup>) = HALO A35BO(5.747±0.105<sup>b</sup>) <</li>
   HALO B3BO (7.798±0.415<sup>c</sup>),
- A marca NORITAKE: NORIB3BO(10.936±0.270<sup>f</sup>) > NORIA1BO(10.095±0.248<sup>e</sup>) > NORIA35BO(5.937±0.358<sup>b</sup>).

O Fator Marca é significante F(2,108)=385.58, p < 0.05. O quadro 5.6C mostra que de maneira geral, o comportamento é o mesmo em relação à variável **TP**<sub>0.5</sub>, sendo que a marca IPS dSIGN apresenta valores de TP semelhantes as marcas HALO e NORITAKE, sendo NORITAKE apresentou valores maiores de TP em relação a marca HALO. A Figura 5.6 mostra que o comportamento deste fator é dependente dos Fatores Opacidade (Opacidade x Marca) e Cor (Cor x Marca).

Para as cerâmicas do tipo Corpo, o comportamento é o mesmo da variável TP<sub>0.5</sub>:

- A cor A1B: IPSA1B > NORIA1B > HALOA1B;
- A cor A35: NORIA35B > IPSA35B = HALOA35B
- A cor B3: NORIB3B > IPSB3B = HALOB3B;

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as cores apresentam comportamento diferente em relação aos grupos do tipo Corpo. Em relação à variável **TP**<sub>0.5</sub>, as cores A1BO e A35BO apresentam comportamento diferente e a cor B3BO, o mesmo.

- A cor A1BO: NORIA1BO > IPSA1BO > HALOA1BO
- A cor A35BO: IPSA35BO = HALOA35BO = NORIA35BO
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.

A figura 5.7 e a tabela 5.23 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável **TP**<sub>2.00</sub>.

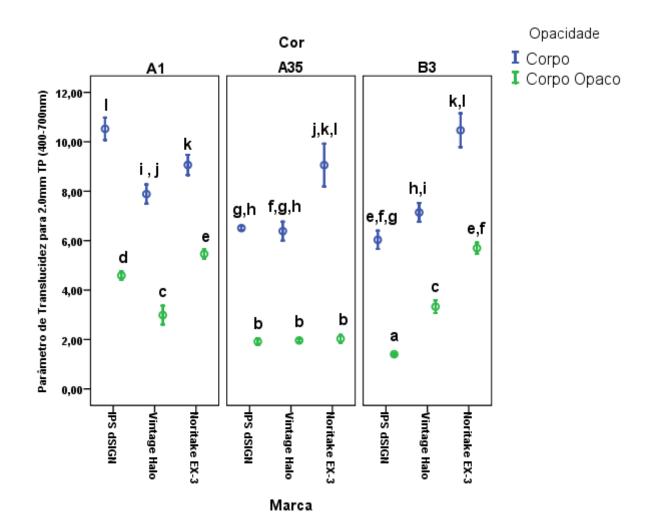


Figura 5.7 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **TP**<sub>2.00</sub>

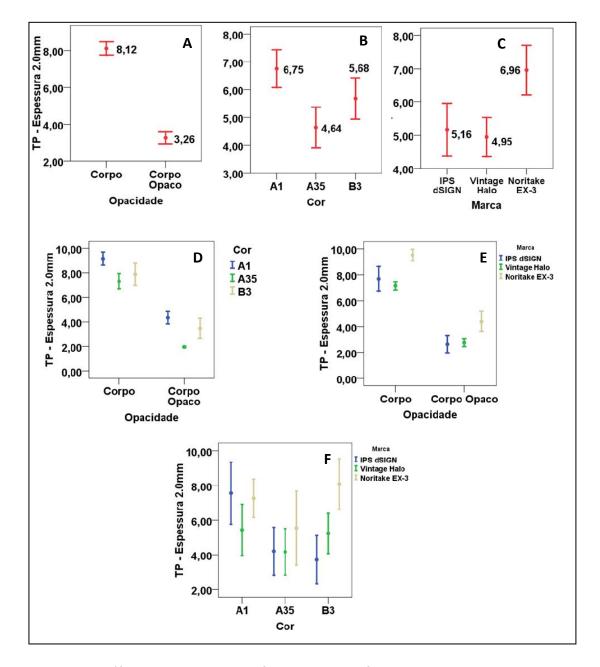
Tabela 5.23 - Múltiplas comparações entre os grupos para variável dependente TP<sub>2.00</sub>

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	10.52*	7.88*	9.06*	6.50*	6.38*	9.05*	6.03*	7.14*	10.46*
	±0.49 <sup>l</sup>	±0.42 <sup>i,j</sup>	±0.44 <sup>k</sup>	±0.09 <sup>g,h</sup>	±0.41 <sup>f,g,h</sup>	±0.94 <sup>j,k,l</sup>	±0.40 <sup>e,f,g</sup>	±0.41 <sup>h,i</sup>	±0.74 <sup>k,I</sup>
Corpo Opaco	4.58*	2.98†	5.46*	1.91 <sup>†</sup>	1.96†	2.02†	1.40 <sup>†</sup>	3.32*	5.69*
"BO"	±0.18 <sup>d</sup>	±0.40°	±0.20 <sup>e</sup>	±0.14 <sup>b</sup>	±0.07 <sup>b</sup>	±0.17 <sup>b</sup>	±0.04 <sup>a</sup>	±0.28°	±0.24 <sup>e,f</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão.

N=7,alpha=0.05

<sup>\*</sup>Valores maiores que 3.3; †Valores menores que 3.3



O quadro 5.7 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.7 - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **TP**<sub>2.00</sub>. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=4454.69, p < 0.05. O quadro 5.7A mostra que o grupo Corpo apresenta, de maneira geral, valores de TP maiores que o grupo Corpo Opaco. A Figura 5.7 e a tabela 5.23 mostram que todos os grupos do tipo Corpo apresentam valores de TP maiores e diferentes estatisticamente, em relação a todos os grupos do tipo

Corpo Opaco, com exceção da cerâmica NORIB3BO que apresenta valores de TP semelhantes às cerâmicas IPSB3B e HALO A35B.

O Fator Cor é significante F(2,108)=280.301, p < 0.05. O quadro 5.7B mostra que de maneira geral os valores de TP são diferentes entre as cores A1 e A35, sendo ambas as cores semelhantes a B3. A Figura 5.7 mostra que o comportamento dos níveis de cor é dependente dos Fatores Marca (Cor x Marca) e Opacidade (Opacidade x Cor), de maneira que:

Para as cerâmicas do tipo corpo, o comportamento das marcas é diferente entre si. Em relação às variáveis **TP**<sub>0.5</sub> e **TP**<sub>1.25</sub>, a marca IPS apresenta o mesmo comportamento em relação a estas variáveis e as marcas HALO e NORITAKE, comportamentos diferentes.

- A marca IPS: IPSA1B( $10.524\pm0.492^{I}$ ) > IPSA35B( $6.507\pm0.091^{g,h}$ ) = IPSB3B( $6.034\pm0.400^{e,f,g}$ ),
- A marca HALO: HALOA1B( $7.884\pm0.420^{i,j}$ ) = HALOB3B( $7.143\pm0.412^{h,i}$ ) = HALOA35B( $6.387\pm0.413^{f,g,h}$ ); HALOA35B( $6.387\pm0.413^{f,g,h}$ )
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $9.064\pm0.443^{k}$ ) = NORIA35B( $9.054\pm0.940^{j,k,l}$ ) = NORIB3B( $10.465\pm0.740^{k,l}$ )

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as marcas apresentam comportamento diferente em relação às cerâmicas do tipo Corpo. Em relação às variáveis  $TP_{0.5}$  e  $TP_{1.25}$ , a marca IPS apresenta o mesmo comportamento estatístico e as marcas HALO e NORITAKE comportamentos diferentes.

- A marca IPS: IPSA1BO( $4.589\pm0.188^{d}$ ) > IPSA35BO( $1.916\pm0.148^{b}$ ) > IPSB3BO( $1.404\pm0.049^{a}$ ),
- A marca HALO: HALOA1BO( $2.988\pm0.409^{c}$ ) = HALO B3BO ( $3.329\pm0.281^{c}$ ), > HALO A35BO( $1.962\pm0.074^{b}$ )
- A marca NORITAKE: NORIB3BO( $5.697\pm0.246^{e,f}$ ) = NORIA1BO( $5.460\pm0.208^{e}$ ) > NORIA35BO( $2.029\pm0.170^{b}$ ).

O Fator Marca é significante F(2,108)=308.15, p < 0.05. O quadro 5.7C mostra que de maneira geral, o comportamento é diferente ao apresentado pelas as variáveis **TP**<sub>0.5</sub> e **TP**<sub>1.25</sub>, sendo que a marca IPS dSIGN apresenta valores de TP maiores que as marcas HALO e NORITAKE, sendo estas semelhantes entre si. A Figura 5.7 mostra que o comportamento deste fator é dependente dos Fatores Opacidade (Opacidade x Marca) e Cor (Cor x Marca).

Para as cerâmicas do tipo Corpo, o comportamento é o mesmo das Variáveis  ${\bf TP_{0.5}}$  e  ${\bf TP_{1.25}}$ , com exceção da cor B3:

- A cor A1B: IPSA1B > NORIA1B > HALOA1B
- A cor A35: NORIA35B > IPSA35B = HALOA35B
- A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as cores apresentam comportamento diferente em relação aos grupos do tipo Corpo e o mesmo comportamento estatístico da Variável **TP**<sub>1,25</sub>.

- A cor A1BO: NORIA1BO > IPSA1BO > HALOA1BO
- A cor A35BO: IPSA35BO = HALOA35BO = NORIA35BO
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.</li>

Tabela 5.24 - ANOVA de três fatores para a variável Espessura Óptica "Infinita" (99,9%) (X∞)

Fonte de Variação	S.Q.	GL	Q.M.	F	Sig.	Observed Power <sup>a</sup>
Cor	64.014	2	32.007	917.865	.000	1.000
Opacidade	130.989	1	130.989	3756.353	.000	1.000
Marca	18.676	2	9.338	267.789	.000	1.000
Cor * Opacidade	1.712	2	.856	24.547	.000	1.000
Cor * Marca	13.798	4	3.449	98.919	.000	1.000
Opacidade * Marca	.213	2	.107	3.060	.051	.580
Cor * Opacidade * Marca	3.162	4	.790	22.669	.000	1.000
Erro	3.766	108	.035			
Total	3222.055	126				

 $R^2 = 0.984$  (R2 Ajustado = 0.982); **a.** Computado usando alfa = .05

O resultado da ANOVA acima mostra que todos os fatores principais: Opacidade, Cor e Marca, são significantes p < 0.05.

As interações de dois fatores: Opacidade x Cor para e Cor x Marca foram significantes p < 0.05.

A interação Opacidade x Marca foi por sua vez não significante com valor p = 0.051, porém este valor é limítrofe.

Por fim a interação de três fatores: Opacidade x Cor x Marca foi significante (p < 0.05)

O valor de R<sup>2</sup> ajustado foi de 98,2% e a sensibilidade de detecção de significância maior que 0.80.

O teste complementar paramétrico de Games-Howell foi aplicado para detectar as diferenças estatísticas existentes entre os grupos experimentais. Este teste foi utilizado, pela falta de homogeneidade das variâncias (Tabela 5.19).

S.Q.= Soma dos Quadrados; GL= Graus de Liberdade; Q.M. = Quadrado Médio

A figura 5.8 e a tabela 5.25 abaixo trazem as múltiplas comparações da interação de três fatores para a variável **X∞**.

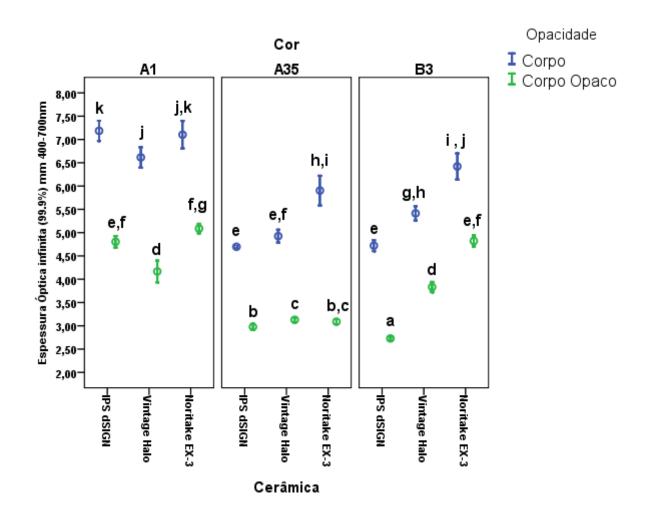


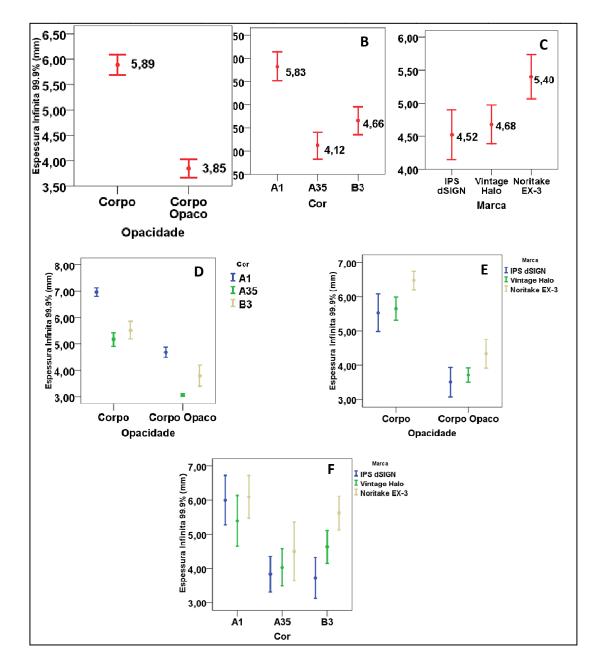
Figura 5.8 - Comparação Ilustrativa dos Intervalos de Confiança e das múltiplas comparações pelo teste de Games-Howell entre os grupos experimentais para a variável **X**∞.

Tabela 5.25 - Múltiplas comparações entre os grupos para variável dependente **X**∞

Cor		A1			A35			В3	
Marca	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake	IPS	Vintage	Noritake
	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3	dSIGN	Halo	EX3
Corpo "B"	7.186	6.615	7.103	4.697	4.925	5.904	4.721	5.414	6.421
	±0.234 <sup>k</sup>	±0.236 <sup>j</sup>	±0.320 <sup>j,k</sup>	±0.022 <sup>e</sup>	±0.149 <sup>e,f</sup>	±0.345 <sup>h,i</sup>	±0.127 <sup>e</sup>	±0.165 <sup>g,h</sup>	±0.303 <sup>i,j</sup>
Corpo Opaco	4.803	4.167	5.088	2.977	3.129	3.088	2.729	3.832	4.821
"BO"	±0.135 <sup>e,f</sup>	±0.252 <sup>d</sup>	±0.110 <sup>f,g</sup>	±0.072 <sup>b</sup>	±0.058°	±0.059 <sup>b,c</sup>	±0.036 <sup>a</sup>	±0.120 <sup>d</sup>	±0.128 <sup>e,f</sup>

Os dados estão dispostos em média±desvio-padrão.

N=7,alpha=0.05



O quadro 5.8 mostra o comportamento estatístico dos fatores principais e das interações.

Quadro 5.8. - Gráficos dos intervalos de confiança de 95% ,dos fatores principais e interações de dois fatores para **X**∞. A – Fator Opacidade; B – Fator Cor; C – Fator Marca; D- Fator Opacidade\*Cor; E – Fator Opacidade\*Marca; F – Fator Cor\*Marca

O Fator Opacidade é significante F(1,108)=3756.35, p < 0.05. O quadro 5.8A mostra que o grupo Corpo apresenta, de maneira geral, valores de Espessura Infinita maiores que o grupo Corpo Opaco. A Figura 5.8 e a tabela 5.25 mostram que todos os grupos do tipo Corpo apresentam valores de Espessura Infinita maiores e diferentes estatisticamente, em relação a todos os grupos do tipo Corpo Opaco, com exceção da cerâmica NORIB3BO que apresenta

valores de Espessura Infinita semelhantes estatisticamente as cerâmicas do tipo Corpo IPSB3B, HALO A35B e IPS A35B, e da cerâmica NORIA1BO que apresenta valores de Espessura Infinita semelhantes à cerâmica HALOA35B.

O Fator Cor é significante F(2,108)=917.86, p < 0.05. O quadro 5.8B mostra que de maneira geral os valores de Espessura Infinita para a cor A1 são maiores e diferentes dos valores de Espessura das cores A35 e B3, sendo estas cores não diferentes entre si. A Figura 5.8 mostra que o comportamento dos níveis de cor é dependente dos Fatores Marca (Cor x Marca) e Opacidade (Opacidade x Cor), de maneira que:

Para as cerâmicas do tipo Corpo, todas as marcas apresentam comportamento distinto entre si:

- A marca IPS: IPSA1B( $4.803\pm0.135^{e,f}$ ) > IPSA35B( $4.697\pm0.022^{e}$ ) = IPSB3B( $4.721\pm0.127^{e}$ ),
- A marca HALO:  $HALOA1B(6.615\pm0.236^{j}) > HALOB3B(5.414\pm0.165^{g,h}) > HALOA35B(4.925\pm0.149^{e,f})$
- A marca NORITAKE: NORIA1B( $7.103\pm0.320^{j,k}$ ) > NORIA35B( $5.904\pm0.345^{h,i}$ ) = NORIB3B( $6.421\pm0.303^{i,j}$ )

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, todas as marcas apresentam comportamento diferente em relação às cerâmicas do tipo Corpo. As marcas HALO e NORITAKE apresentam comportamento semelhante entre si e diferentes da marca IPS.

• A marca IPS: IPSA1BO( $4.589\pm0.188^{d}$ ) > IPSA35BO( $2.977\pm0.072^{b}$ ) > IPSB3BO( $2.729\pm0.036^{a}$ ),

- A marca HALO: HALOA1BO( $4.167\pm0.252^d$ ) = HALO B3BO ( $3.832\pm0.120^d$ ), > HALO A35BO( $3.129\pm0.058^c$ )
- A marca NORITAKE: NORIB3BO( $4.821\pm0.128^{e,f}$ ) = NORIA1BO( $5.088\pm0.110^{f,g}$ ) > NORIA35BO( $3.088\pm0.059^{b,c}$ ).

O Fator Marca é significante F(2,108)= 267.78, p < 0.05. O quadro 5.8C mostra que de maneira geral, a marca IPS dSIGN apresenta valores de Espessura Infinita maiores que as marcas HALO e NORITAKE, sendo estas semelhantes entre si. A Figura 5.8 mostra que o comportamento deste fator é dependente dos Fatores Opacidade (Opacidade x Marca) e Cor (Cor x Marca). Para as cerâmicas do tipo Corpo, o comportamento entre as três marcas são diferentes entre si, de modo que:

- A cor A1B: IPSA1B > HALOA1B = NORIA1B; IPSA1B = NORIA1B
- A cor A35: NORIA35B > IPSA35B = HALOA35B
- A cor B3: NORIB3B > HALOB3B > IPSB3B

Para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco todas, todos os grupos apresentam comportamento estatístico diferente entre si. As marcas na cor B3BO apresentam o mesmo comportamento estatístico do grupo B3B.

- A cor A1BO: NORIA1BO = IPSA1BO > HALOA1BO
- A cor A35BO: IPSA35BO < HALOA35BO = NORIA35BO; IPSA35BO = NORIA35BO</li>
- A cor B3BO: IPSB3BO < HALOB3BO < NORIB3BO.

5.1.3.2 estudo do relacionamento entre as variáveis  $TP_{0.5}$ ,  $TP_{1.25}$ ,  $TP_{2.00}$  e Espessura Óptica Infinita ( $X\infty$ ) no intervalo de comprimento de onda de 400 a 700nm.

Tabela 5.26 – Parâmetros estatíticos e coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub> em relação a variável **X**∞

Pares	n (pares)	GL	Nível Sig.	Valor t	IC.inf. 95%	IC.sup. 95%	Pearson ( r )	Valor p
<b>TP</b> <sub>0.5</sub> x <b>X</b> ∞	126	124	0.95	20.723	0.83	0.91	0.88	< 0.01
<b>TP</b> <sub>1.25</sub>	126	124	0.95	25.604	0.88	0.94	0.91	< 0.01
<b>TP</b> <sub>2.00</sub> x <b>X</b> ∞	126	124	0.95	36.58	0.94	0.97	0.95	< 0.01

GL=Graus de Liberdade; IC.inf.=Intervalo de Confiança inferior

IC.sup.=Intervalo de Confiança superior; Valor crítico  $\mathbf{t}_{(0.05;124)}$ =1.98

A tabela 5.26 traz os resultados do Teste paramétrico de correlação de Pearson. Para todas as variáveis, a correlação é positiva, forte e significante, de maneira que quanto maior a Espessura Óptica Infinita maior o valor do Parâmetro de Translucidez.

Tabela 5.27 – Coeficientes de Regressão linear para as variáveis **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub> em relação a variável **X**∞

Pares	n	Erro padrão	(R <sup>2</sup> )	(R² ajus)
TP <sub>0.5</sub> x X∞	126	0.65	0.78	0.77
<b>TP</b> <sub>1.25</sub>	126	0.55	0.84	0.84
TP <sub>2.00</sub> x X∞	126	0.40	0.92	0.91

R<sup>2</sup> = Coeficiente de Regressão; R<sup>2</sup> ajus = Coeficiente de Regressão Ajustado

Tabela 5.28 – Anovas de Regressão para as variáveis  $TP_{0.5}$ ,  $TP_{1.25}$  e  $TP_{2.00}$ 

Modelos		SQ	gl	QM	F	Sig.
TP <sub>0.5</sub>	Regressão	183.380	1	183.380	429.444	< 0.01
	Residuo	52.950	124	0.427		
	Total	236.330	125			
TP <sub>1.25</sub>	Regressão	198.741	1	198.741	655.599	< 0.01
	Residuo	37.590	124	0.303		
	Total	236.330	125			
TP <sub>2.00</sub>	Regressão	216.288	1	216.288	1338.134	< 0.01
	Residuo	20.043	124	0.162		
	Total	236.330	125			

SQ = Soma dos Quadrados; GL = Graus de Liberdade; QM = Quadrado Médio

Tabela 5.29 – Parâmetros estatísticos de Regressão para as variáveis  $TP_{0.5}$ ,  $TP_{1.25}$  e  $TP_{2.00}$ 

Modelos		Coeficientes B	Erro padrão	Valor t	valor-P	IC.inf. 95%	IC.sup. 95%
TP <sub>0.5</sub>	Interseção	-0.229	0.253	-0.905	> 0.05	-0.729	0.271
	TP0.5mm	0.227	0.011	20.723	< 0.01	0.205	0.249
TP <sub>1.25</sub>	Interseção	1.464	0.142	10.331	< 0.01	1.183	1.744
	TP1.25mm	0.315	0.012	25.605	< 0.01	0.291	0.340
TP <sub>2.00</sub>	Interseção	2.316	0.078	29.538	< 0.01	2.161	2.471
	TP2mm	0.448	0.012	36.581	< 0.01	0.424	0.473

IC.inf. = Intervalo de Confiança Inferior; IC.sup. = Intervalo de Confiança Superior alpha=0.05

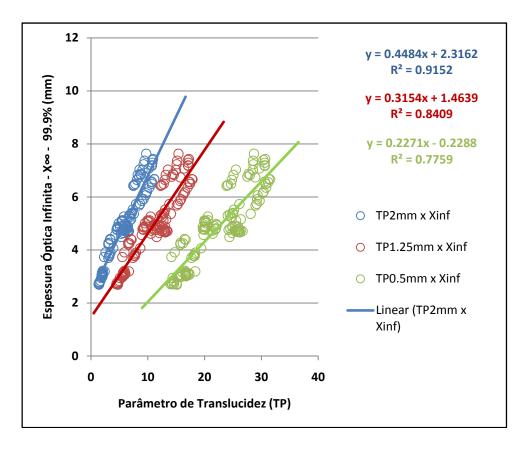


Figura 5.9 – Ilustrativo de dispersão das variáveis independentes (explicativas) **TP**<sub>0.5</sub>, **TP**<sub>1.25</sub> e **TP**<sub>2.00</sub> em função da variável dependente **X**∞

As tabelas 5.27, 5.28 e 5.29, trazem as informações sobre o relacionamento das variáveis de parâmetro de translucidez e Espessura óptica infinita. Todas as regressões são significantes, com valores de R<sup>2</sup> ajustado superior a 0.75 para todas as variáveis TP.

A Figura 5.9 ilustra o comportamento entre estas varáveis e a variável Espessura óptica infinita.

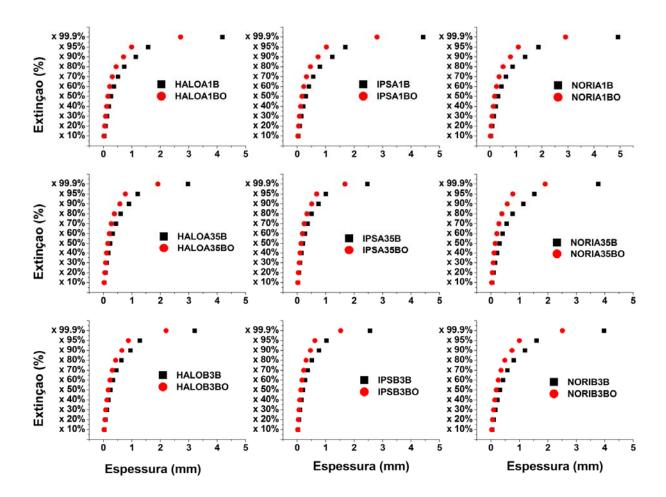
A variável X∞ é explicada, predita, por todas as variáveis TP, pelas seguintes equações:

- Para TP 0.5mm:  $X = 0.227 \text{ TP}_{0.5} 0.228$ ,  $R^2 = 0.77$
- Para TP 1.25mm:  $X \approx = 0.315 * TP_{1.25} 1.463$ ,  $R^2 = 0.84$
- Para TP 2.00mm:  $X \approx = 0.448 * TP_{2.00} 2.316$ ,  $R^2 = 0.91$

## 5.2 Análises Qualitativas

5.2.1 análises qualitativas no intervalo de comprimento de onda de 410-500nm

O quadro abaixo mostra o perfil o perfil das extinções, em função da espessura óptica

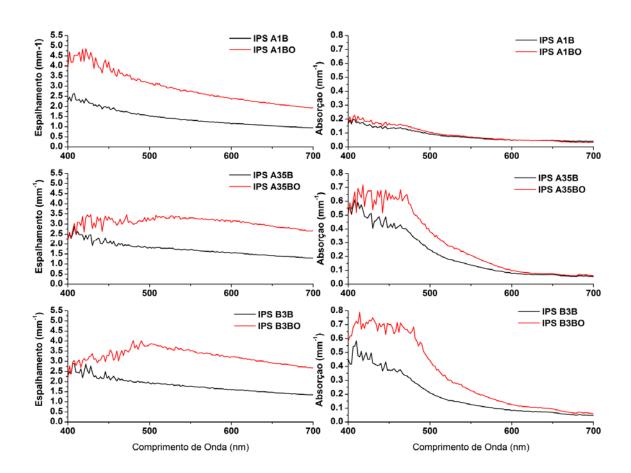


Quadro 5.9 - Espessuras ópticas obtidas nas extinções de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 e 99.9% para todas as cerâmicas no intervalo de comprimento de onda de 410-500nm

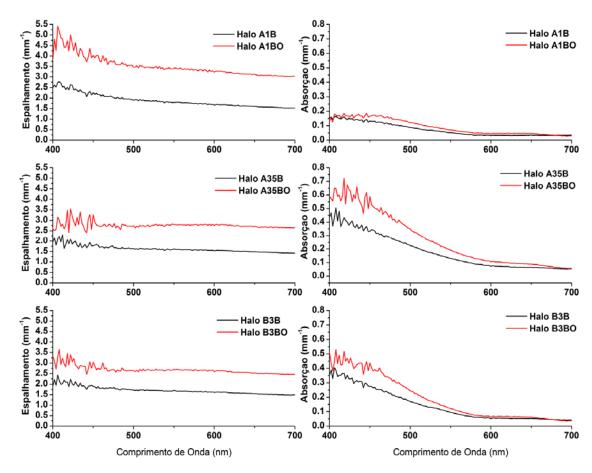
O quadro 5.9 mostra que para todos os grupos experimentais pode-se observar um aumento não linear da espessura com o aumento da extinção, aumento este que apresenta um perfil exponencial.

## 5.2.2 análises qualitativas no intervalo de comprimento de onda de 410-700nm

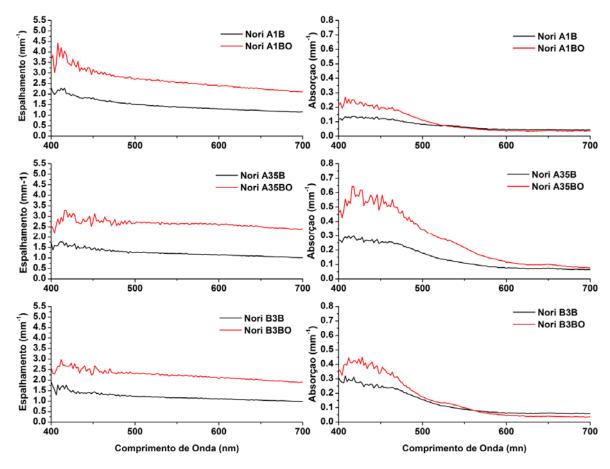
Os quadros 5.10, 5.11 e 5.12 abaixo, mostram os perfis espectrais de Espalhamento ("S") e Absorção ("K") das três marcas de cerâmicas deste estudo experimental.



Quadro 5.10 - Curvas espectrais de Espalhamento e Absorção para todos os grupos da cerâmica IPSdSIGN



Quadro 5.11 - Curvas espectrais de Espalhamento e Absorção para todos os grupos da cerâmica Vintage Halo



Quadro 5.12 - Curvas espectrais de Espalhamento e Absorção para todos os grupos da cerâmica Noritake EX-3

Os quadros 5.10, 5.11 e 5.12, mostram que para todas as marcas, de maneira geral, as cerâmicas do tipo Corpo Opaco, apresentam curvas de espalhamento e absorção mais altas do que as cerâmicas do tipo Corpo. Em relação à Cor, as Cores A1 Espalham mais e absorvem menos energia em relação às cerâmicas A35 e B3, que por sua vez espalham menos e absorvem mais energia.

Os perfis da curva também variam de acordo com o comprimento de onda. As curvas de espalhamento e absorção apresentam maiores valores no começo do espectro (Faixa do azul e verde), declinando em direção ao final (Faixa do vermelho). Este declínio é mais acentuado para as curvas de Absorção.

As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 abaixo, apresentam os perfis da espessura óptica infinita em função do comprimento de onda para todos os grupos experimentais.

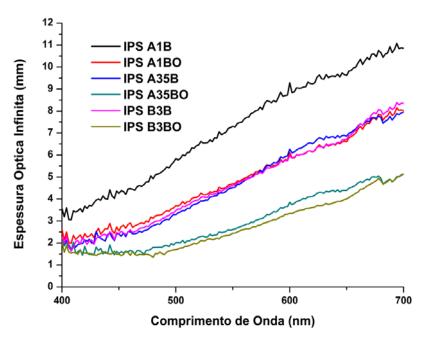


Figura 5.10 - Curvas da Espessura Óptica infinita (X∞) para todos os grupos da cerâmica IPS dSIGN

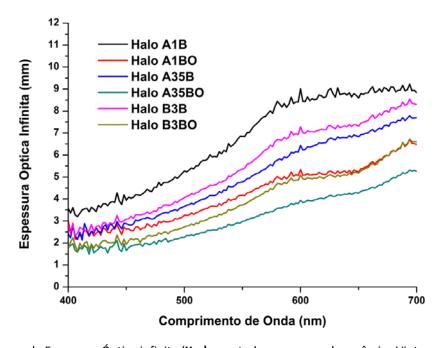


Figura 5.11 - Curvas da Espessura Óptica infinita (X∞) para todos os grupos da cerâmica Vintage Halo

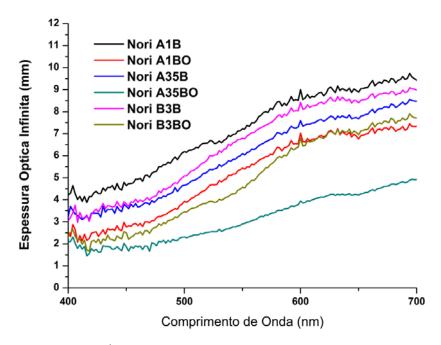


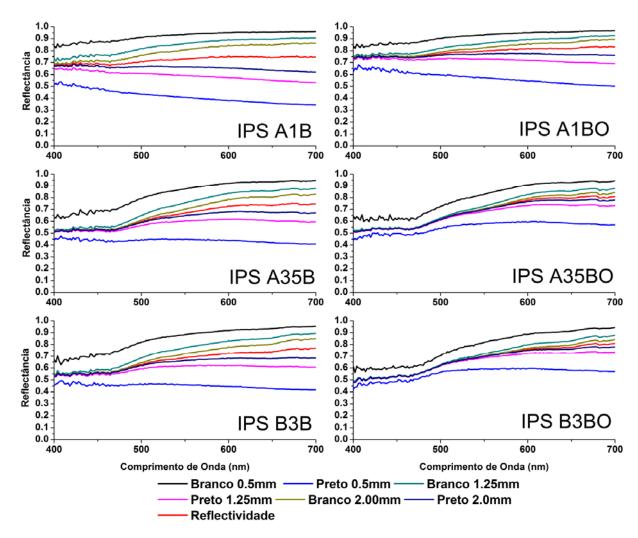
Figura 5.12 - Curvas da Espessura Óptica infinita (X∞) para todos os grupos da cerâmica Noritake EX-3

Pode-se notar que para todas as cerâmicas, as cerâmicas do tipo Corpo apresentam de maneira geral as curvas mais altas, que representam os maiores valores de Espessura óptica infinita, para todos os comprimentos de onda, em relação às cerâmicas do tipo Corpo Opaco.

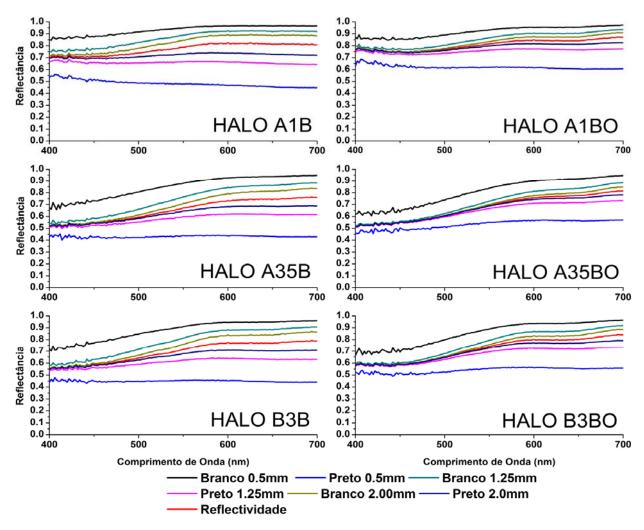
Pode-se notar também que para todas as cerâmicas os valores de espessura óptica aumentam com ou aumento de comprimento de onda em direção ao vermelho.

De maneira geral o aumento das curvas de Espessura óptica infinita varia de acordo com o inverso da saturação, são maiores para as cores A1 e menores para as cores A35 e B3.

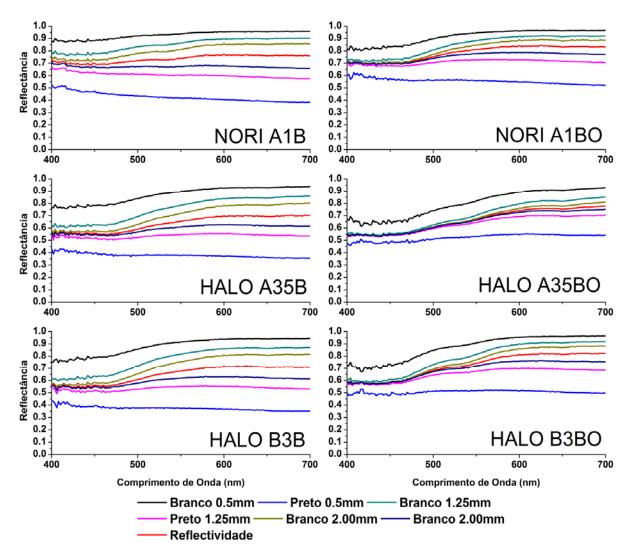
Os quadros 5.13, 5.14 e 5.15 abaixo, trazem as curvas de reflexão em ambos os fundos (branco e preto) e as curvas de Refletividade para todos os grupos experimentais.



Quadro 5.13 - Curvas espectrais de Reflexão estimadas, em fundos brancos e pretos, nas espessuras de 0.5mm, 1.25mm e 2.0mm, e da Refletividade (R∞) para todos os grupos da cerâmica IPSdSIGN



Quadro 5.14 - Curvas espectrais de Reflexão estimadas, em fundos brancos e pretos, nas espessuras de 0.5mm, 1.25mm e 2.0mm, e da Refletividade (R∞) para todos os grupos da cerâmica Vintage Halo



Quadro 5.15 - Curvas espectrais de Reflexão estimadas, em fundos brancos e pretos, nas espessuras de 0.5mm, 1.25mm e 2.0mm, e da Refletividade (R∞) para todos os grupos da cerâmica Noritake EX-3.

Pode-se notar que com aumento da espessura, há uma aproximação das curvas de reflexão obtidas em ambos os fundos em direção a Refletividade (linha vermelha central). Esta convergência para Refletividade é mais acentuada para as cerâmicas do tipo Corpo Opaco e é mais acentuada no começo do espectro (faixa do azul e verde) e menos acentuada para o final do espectro (faixa do amarelo e vermelho).

## 6 DISCUSSÃO

As interações da luz com a matéria são um tópico complexo. Os resultados destas interações envolvem todas as propriedades ópticas. Estas propriedades agem de maneira concomitante e em tempo real, e o seu resultado nos é apresentado pelas sensações visuais que obtemos do meio onde as interações ocorreram.

Neste trabalho estudamos, de maneira geral, os efeitos da interação da luz visível em materiais restauradores indiretos, no caso as cerâmicas, mais especificamente, as porcelanas feldspáticas odontológicas, através de ensaios de refletância em três marcas comerciais, variando a opacidade e a cor. Apesar de termos observado como dado inicial apenas os espectros de refletância, o método escolhido para análise, a Teoria de Kubelka-Munk, abrangeu também de maneira concomitante os fenômenos de transmissão e absorção de luz.

Desta maneira todas as análises sejam quantitativas ou qualitativas foram obtidas a partir dos espectros de reflexão em fundos branco e preto. Estes espectros introduzidos pontualmente nas equações de KM, e nos deram um panorama do perfil óptico de todos os materiais envolvidos neste estudo. Este panorama nos permitiu discernir entre diferentes padrões de comportamento óptico, que variaram em função das cores, marcas comerciais e principalmente entre as opacidades dos diferentes espécimes com relativa clareza.

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

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

Quando revisamos a literatura odontológica, no pareceu claro que o estudo das propriedades ópticas das porcelanas odontológicas, principalmente agora, na atualidade dos procedimentos adesivos, envolvia dois aspectos muito importantes: (1) Serem capazes de permitir uma transmissão de luz adequada para fins de fotopolimerização e ao mesmo tempo, (2) serem capazes de mascarar o fundo sob o qual são posicionadas.

Em relação ao primeiro aspecto, Mclean (2001) afirmou que o maior avanço da odontologia restauradora no século XX, foi o advento dos materiais e técnicas adesivas e que o desenvolvimento dos materiais cerâmicos mudou a partir desta possibilidade. As porcelanas feldspáticas, que até então, por serem materiais friáveis (McLEAN, 1979a; 1979b; 2001; PRESTON, 1988; CALLISTER, 2007), tinham a necessidade de serem fixadas em arcabouços ou coppings metálicos (STEAGALL, 1973), passaram a poder lançar mão de técnicas adesivas e serem fixadas diretamente ao substrato dental (CALAMIA, 1985; GARBER; GOLDSTEIN; FEINMAN, 1988; BARGHI; FISCHER; VATANI, 2006). Este avanço tornou possível o planejamento e a confecção de restaurações mais conservadoras, necessitando de menor desgaste dos tecidos dentais, podendo ser também parciais e específicas a certas porções do elemento dental (SPEAR; HOLLOWAY, 2008).

Para serem fixadas no substrato dental, cimentos capazes de prover este objetivo foram desenvolvidos. Atualmente este recurso gerou três tipos de materiais: os Fotoativados, os de ativação dupla ou dual (Fotativados + autoativados) e os auto ativados ou químicos. (CALAMIA; CALAMIA, 2007)

Entretanto pode não haver energia necessária, capaz de atravessar a porcelana e ativar o cimento, sendo assim as opções giram em torno dos de ativação dupla ou dual, indo até casos extremos, onde não há energia transmitida detectável, sendo aí utilizado o cimento de presa química (WATTS; CASH, 1994).

A literatura relata que a capacidade da luz em atravessar as porcelanas depende de fatores como: marca comercial, espessura, cor, opacidade (CHAN; BOYER, 1989; LINDEN et al., 1991, CARDASH et al., 1993; ODONT; DRISCOLL; von FRAUNHOUFER, 2001; ROSETTO et al., 2004; PIVA, 2004; ROGÉLI et al., 2007; BORGES et al., 2008). Nossos resultados mostram que estes fatores também foram influentes no estudo das espessuras. A tabela 5.7, nos informa que para todas as variáveis (Espessuras Ópticas: X₅₀, X₀₀ X₀₀ X₀₀ e X'∞₀₀₀), todos os fatores de variação (opacidade, cor e marca comercial), assim como suas interações são significantes (p < 0.05). Podemos observar o alto grau de significância pelos expressivos valores dos testes "F".

O fato de todas as interações serem significantes aponta que, apesar de pontuarmos num primeiro momento a importância de cada um dos fatores isoladamente, devemos deixar claro que seus efeitos vão coexistir para atenuar a luz.

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 e as tabelas 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11, mostram a intensa influência que a espessura<sup>9</sup> exerce na atenuação da luz. Na tabela 5.8 e figura 5.1 pode-se observar que os materiais do tipo corpo com uma espessura média pequena de 0.250mm e os de corpo opaco de 0.150mm já atenuam 50% da energia. Do ponto de vista clínico, espessuras de 0.5 a até aproximadamente 1.5mm (SPEAR; HOLLOWAY, 2008), só serão

-

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>Quando a palavra "Espessura" é utilizada sozinha, ela diz respeito à espessura "Física" do material. Quando queremos nos dirigir as Variáveis dependentes, utilizaremos os termos Espessura "Óptica" ou "Infinita", conforme o caso.

observadas em média, nas espessuras ópticas de 80 (0.80) (Quadro 5.9) a 95 (0.95) (tabela 5.10 e figura 5.3) para corpo, e de 90 (0.90) (tabela 5.9 e figura 5.2) e 95 (0.95) (tabela 5.10 e figura 5.3) para corpo opaco. Isto indica que praticamente em todas as situações clínicas, esta faixa em particular do comprimento de onda (410-500nm), estará sendo atenuada ou extinta, nestas proporções, e que uma quantidade de energia disponível, será de maneira geral de 5 a 20% para corpo e de 5 a 10% para corpo opaco. Ainda em relação à espessura, a tabela 5.11 e o figura 5.4 trazem a espessura infinita 99.9 (0.99), representando a espessura máxima a partir da qual a transmissão de luz não será mais efetiva (WOOLSEY; JOHNSTON; O'BRIEN, 1984). Os valores apresentados são em geral maiores que as espessuras dos materiais normalmente utilizadas na confecção das restaurações, porém os grupos, IPSA35BO (1.630±0.048) e IPSB3BO (1.527±0.064), nos chamaram a atenção devido aos valores baixos de espessura infinita, próximos a 1.5mm, o que representa a alta efetividade de atenuação de luz destes materiais. Provavelmente, não serão utilizados nestas espessuras, pois os fabricantes sugerem sua utilização junto aos materiais de corpo (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999), mas exercerão um poder muito alto de atenuação, sempre que estiverem presentes. No quesito espessura, toda a literatura é concordante na maneira eficiente e significante, com que esta variável atenua a passagem de energia (CHAN; BOYER, 1989; ROSETTO et al., 2004; WATTS; CASH, 1994; ROGÉLI et al., 2007).

As razões de tal atenuação estão nas propriedades ópticas dos materiais. Segundo Jenkins e White (1981), à medida que a luz atravessa um meio, diferente do ar, existe uma diminuição (atenuação) de sua intensidade, devido à absorção e ao espalhamento. Esta combinação de absorção e espalhamento é chamada de atenuação (van de HULST, 1981). Brodbelt, O'Brien e Fan.(1980) e Brodbelt et al., (1981) apontam que os materiais cerâmicos

assim como os tecidos duros dentais se comportam desta maneira. Esta atenuação, mediada por espalhamento e absorção, está diretamente associada à estrutura do material, que no caso das cerâmicas é heterogênea, formada por diferentes fases, em diferentes proporções (Tabelas 4.1, 4.2, 4.3) e diferentes índices de refração (Tabela 2.1; McLEAN, 1979a; PICHÉ et al., 1994; IVOCLAR, 2003; WOOD et al., 2008).

À medida que a espessura aumenta, estes fenômenos vão se intensificando, até o momento em que se tornam tão intensos, que a toda a energia incidente é espalhada e absorvida e por fim, extinta de maneira absoluta (van de HULST, 1981). Kubelka e Munk (1931) e Kubelka (1948) exemplificam este comportamento através das equações 2.3, 2.4, 4.8 e 4.11. As equações 2.3, 2.4 e 2.6 demonstram que a propagação da luz é dependente da espessura, e que as propriedades ópticas, Espalhamento "S" (Eq 4.8) e Absorção "K" (Eq 4.9) são ambas moduladas por esta variável. Estas equações nos permitem também concluir que, com o aumento da espessura, a reflexão e transmissão de luz, ambas moduladas por "S" e "K", apresentam tendências diferentes. A reflexão observada tende a refletância e a transmissão tende a zero.

O resultado das extinções de luz, plotados em função das espessuras ópticas estimadas, gerou um perfil curvilíneo, revelando que a extinção ou atenuação de luz aumentou exponencialmente em relação à espessura (Quadro 5.9). Chan e Boyer (1989), também observaram tal comportamento, quando fotoativaram materiais resinosos (cimentos resinosos) através de discos de porcelana com várias espessuras. Os autores assinalaram que a microdureza do cimento ia diminuindo de maneira aproximadamente linear, à medida que as espessuras de cerâmicas aumentavam, até um ponto, onde caia abruptamente, quando as espessuras já eram expressivas, formando um perfil curvilíneo.

Acreditamos, que nosso resultado expressa de maneira "espelhada", o que ocorreu com os valores de microdureza. Observando o quadro 5.9, podemos ver que os valores de espessura óptica vão aumentando no início de maneira aproximadamente linear, até aproximadamente a espessura óptica de 70 (0.70), onde passa a aumentar acentuadamente, até a espessura infinita. Desta maneira, os valores de energia disponível ao atravessar espessuras de cerâmica crescentes, obedecem ao comportamento oposto, como descrito pelo autor.

O fator cor também exerceu efeito em atenuar a luz. Neste trabalho utilizamos duas opacidades para cada marca e cor, o que não observamos, até o presente momento, na literatura. Quando os autores utilizaram cores diferentes, as cerâmicas eram todas de corpo, logo confrontaremos os resultados com a literatura, somente em relação às cerâmicas de corpo.

Chan e Boyer (1989) reportaram que cores mais claras transmitiam mais luz e por isso fotativavam de maneira mais eficiente os cimentos resinosos. Cardash et al. (1993) também concluíram que cores mais claras transmitiam mais luz e eram mais eficientes na fotoativação dos cimentos, mas que este comportamento só era linear dentro de cada grupo de cor, a mesma conclusão foi obtida por Rogéli et al. (2007). Nestes trabalhos os autores utilizaram sempre a mesma marca cerâmica, variando a sua cor. Nossos resultados apontam semelhança na observação dos autores. As figuras 5.2 e 5.3 mostram que para as cerâmicas de corpo, levando em consideração a mesma marca, as três marcas estudadas apresentaram maiores valores de espessura óptica para a cor A1 (menor atenuação) em relação às cores A35 e B3 (maior atenuação), que por sua vez, não foram diferentes entre si.

A literatura também relata que a opacidade, atenua a transmissão de luz, porém os artigos são pouco conclusivos. Linden et al. (1991) construíram corpos cerâmicos, pela mistura manual de pós de mesma cor, mas com opacidades diferentes, "pó opaco" e "pó translúcido". Foram utilizadas 3 proporções, 75% opaco e 25% translúcido e 50% opaco e 50% translúcido. Os autores mediram a transmitância das três proporções a concluíram que os resultados foram similares, com o disco formado apenas por opaco, registrando os menores valores. O'Keefe, Pease e Herrin (1991), realizaram um experimento de maneira similar, variando além das proporções entre pós opaco e translúcido, as espessuras dos materiais. Os resultados mostraram que tanto a opacidade como a espessura foram significantes, porém a opacidade foi influente apenas para a maior espessura.

Diferente do que reporta a literatura, os resultados do nosso trabalho mostram que a opacidade, foi muito atuante. Se considerarmos as comparações dentro das mesmas marcas e cores, as cerâmicas do tipo corpo sempre apresentam valores de espessuras ópticas claramente maiores que as cerâmicas do tipo corpo opaco. Estas diferenças ocorreram para todas as variáveis envolvidas  $X_{50}$ ,  $X_{90}$   $X_{95}$  e  $X' \sim_{99.9}$ . As figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 ilustram este comportamento. Não encontramos até o presente momento maiores informações a respeito da comparação das propriedades ópticas entre cerâmicas do tipo corpo e corpo opaco, o que nos motivou a contribuir com dados a respeito deste material, que é recente no mercado (IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005; SHOFU, 1999).

Acreditamos que nosso resultado divergiu da literatura, porque os pós de diferentes opacidades foram obtidos prontos, sem a necessidade de manipulação que pode gerar resultados imprecisos e com grande dispersão numérica.

A fim de elucidarmos ainda mais esta questão entre corpo e corpo opaco, realizamos de maneira ilustrativa e qualitativa, uma relação entre as espessuras ópticas do corpo opaco sobre as espessuras ópticas do tipo corpo<sup>10</sup> (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Tabela comparativa dos coeficientes entre as espessuras ópticas dos copos e a dos corpos opacos, para todas as variáveis e condições experimentais

	IPS			Halo			Noritake		
410-500nm	A1	A35	В3	A1	A35	В3	A1	A35	В3
X <sub>50</sub>	55.70%	67.66%	61.39%	59.70%	64.02%	68.02%	58.02%	50.66%	60.13%
X <sub>90</sub>	59.45%	67.87%	60.57%	62.21%	63.89%	68.35%	58.44%	50.79%	61.71%
$X_{95}$	62.60%	68.00%	60.35%	62.96%	64.32%	68.46%	58.62%	50.52%	62.22%
χ′∞ <sub>99.9</sub>	63.35%	68.13%	59.74%	64.79%	64.08%	68.60%	59.05%	50.49%	63.25%

A tabela 6.1 mostra que os materiais do tipo corpo opaco apresentam espessuras ópticas equivalentes em média a 50 a 68% das espessuras óptica do corpo. Quanto menor o coeficiente maior a atenuação. A tabela também mostra que os coeficientes são relativamente constantes em função da mesma marca comercial e cor para todas as variáveis, mas varia entre cores e marcas. Estes dados nos sugerem que o mesmo fabricante não aplica o mesmo perfil de opacidade para as diferentes cores, e que há diferenças entre os diferentes fabricantes neste quesito. Estas diferenças estão presentes em nossos resultados pontuais. Nas figuras 5.2 e 5.3, nas espessuras ópticas de 90(0.90) e 95(0.95), a cerâmica IPSB3B apresenta valores de espessura óptica semelhante à NORIB3BO e ambas, valores de espessura semelhantes às cerâmicas IPSA35B e todas as de corpo opaco A1 (IPSA1BO, HALOA1BO e NORIA1BO). Ainda, em relação às marcas comerciais, pudemos notar que a marca IPS dSIGN, principalmente no que diz respeito as cores A35 e B3, apresentou menores valores de espessura óptica para ambas as opacidades, em relação as marcas Halo e Noritake. Acreditamos que a principal razão deste comportamento seja

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Os valores foram obtidos das tabelas 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11

algumas diferenças nas composições dos materiais. As tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 trazem as composições médias dos pós utilizados. Podemos notar que a marca IPS dSIGN apresenta uma maior concentração de óxidos metálicos, em relação as outras marcas, como por exemplo ZrO<sub>2</sub> (1.38), BaO (3.50), ZnO (2.59) e Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.04). Destacamos dentre estes materiais, os óxidos ZrO<sub>2</sub> e Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que apresentam um índice de refração 2.21 e 1.92 respectivamente, bem maiores que o índice de refração do dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), que é de 1.5 (WOOD et al., 2008). Além disso, o fabricante reporta ter introduzido fases vítreas de fluorapatita na composição. (IVOCLAR, 2003). Todos estes componentes resultam em maior de atenuação da luz, por diferenças entre os índices de refração. No quadro 5.10, também podemos notar um pequeno aumento nos volumes de espalhamento e absorção para as cores A35 e B3 para a marca IPS dSIGN em ambas as opacidades, em comparação as mesmas cores e opacidades para as marcas Halo (Quadro 5.11) e Noritake (Quadro 5.12).

O quadro 5.9 também ilustra o papel da opacidade na extinção da luz. Pode-se observar que as linhas vermelhas, dos corpos opacos, estão mais próximas do eixo Y em comparação aos corpos (linhas pretas), o que aponta para maior atenuação de luz para os corpos opacos. Acreditamos que este efeito possa ser significante para todas as espessuras ópticas de  $X_{10}$  até  $X_{99.9}$  (Quadro 5.9), devido a pequena dispersão dos dados e pelo comportamento dos resultados pontuais, calculados para as variáveis  $X_{50}$ ,  $X_{90}$   $X_{95}$  e  $X' \sim_{99.9}$ .

Do ponto de vista óptico, os papéis da cor e da opacidade na atenuação da luz podem ser observados nos quadros 5.10, 5.11 e 5.12, os quais trazem os espectros de Espalhamento "S" e Absorção "K" em todas as cores e opacidades paras as marcas IPS, HALO e NORITAKE respectivamente.

Os valores dos espectros de espalhamento são maiores que os de absorção, porém ambos os diminuem com o comprimento de onda. Ambos apresentam maiores valores, nos comprimentos de onda menores, na região de 410-500nm, como descrito por Brodbelt et al. (1981), Cook e McAree (1985), Miyagawa e Powers (1983), O'Brien, Johnston e Fanian (1985) e Wood et al. (2008). A diminuição das curvas em direção aos comprimentos de onda maiores é comparativamente mais acentuada para os espectros de absorção em relação aos de espalhamento. Como colocado acima a atenuação ou extinção de luz é o resultado da somatória dos efeitos do espalhamento e da absorção, logo para todos os materiais a atenuação maior ocorre nesta justamente na faixa inicial do comprimento de onda (410-500nm).

Identificamos também alguns aspectos em relação à cor. Como discutido acima, as cores mais saturadas (A35 e B3) atenuam mais a luz, que a cor A1. Os comportamentos dos espectros explicam tal resultado de maneira interessante. Qualitativamente, observamos que a cor A1 para todas as marcas, apresenta espectros de espalhamento um pouco mais expressivos e de absorção menos expressivos que as cores A35 e B3. Este comportamento sugere que a atenuação de luz para a cor A1 ocorre mais as expensas do espalhamento em do que em relação à absorção, ao passo que para as cores A35 e B3, apresentam espectros de espalhamento um pouco menores e de absorção bem maiores, sendo que atenuação parece ser mais dividida entre ambas as propriedades ópticas.

Descrevemos anteriormente que a opacidade exerceu um papel importante na atenuação da luz. Os espectros de espalhamento e absorção mostram que os materiais do tipo corpo opaco espalham e absorvem mais luz em relação aos materiais do tipo corpo, para todas as cores e marcas. Observamos que os volumes de espalhamento e absorções no

começo do espectro, também são mais expressivos para os materiais do tipo corpo opaco. Este comportamento é mais acentuado para as cores mais saturadas como reportado por Wood et al. (2008)

O resultado óptico direto do comportamento do espalhamento e absorção está refletido nas figuras 5.10, 5.11 e 5.12. Estas figuras trazem os espectros das espessuras ópticas infinitas para todos os grupos experimentais. Podemos observar que estes espectros apresentam um comportamento inverso aos espectros de espalhamento e absorção, sendo que, os menores valores de espessura óptica estão localizados, na primeira porção do espectro, justamente onde os volumes de absorção e espalhamento, descritos acima são maiores. O mesmo comentário fazemos em relação à opacidade, ou seja, os espectros de espessura óptica infinita para os materiais do tipo corpo apresentam maiores volumes em relação aos de corpo opaco e vice-versa.

O efeito somatório de todos estes fatores na atenuação nesta faixa espectral de 410-500nm, como descrito acima, é importante e repercute diretamente e estrategicamente na clínica, na qualidade da fotoativação dos cimentos resinosos, seja do tipo foto ou dual, e na subseqüente sobrevida da restauração.

Pegoraro et.al (2007) afirmam que a estratégia da utilização de um cimento somente foto ativado, dual ou até de presa química, depende da espessura e da cor da cerâmica. Os cimentos duais e químicos apresentam como grande vantagem a utilização em situações de difícil acesso de energia, ao passo que podem apresentar desvantagens, como alteração de cor, devido à presença e concentração do catalisador químico. Os cimentos foto ativados por sua vez apresentam, melhor estética, melhor estabilidade de cor pela ausência de aminas

terciárias (presentes no catalisador químico), melhor remoção de excessos, e melhor controle e previsibilidade sobre o tempo de trabalho (TANGO, 2006).

Watts e Cash (1994) afirmam que a fotoativação ou "trans-ativação" através de barreiras, como os materiais restauradores, dentro desta faixa espectral, é um procedimento extremamente ineficiente. Os autores apontam que pela natureza altamente difusora, grande parte da energia incidida (60 a 75% em média) (Quadros 5.13, 5.14 e 5.15), reaparece na forma de espalhamento por reflexão e, parte é absorvida pelos pigmentos do material, restando muito pouco para ser transmitido.

A afirmação de Watts e Cash (1994) pode ser confirmada nos seguintes nos resultados dos seguintes autores mediram diretamente estes efeitos utilizando unidades de fotoativação (JUNG et al., 2001; ODONT; DRICOLL; von FRAUNHOUFER, 2001; ROSETTO et al., 2004; PIVA, 2004; ROGÉLI et al., 2007).

Roseto et al. (2004) demonstraram que o copping cerâmico (0.6mm) e as cerâmica de cobertura feldspática (1.0mm) atenuavam em média 76% da energia incidente. Os autores utilizaram 3 unidades de fotoativação, sendo duas de alta potência , Arco de plasma e Unidade halôgena de alta intensidade e uma unidade halôgena convencional. Os autores concluíram que a atenuação foi semelhante para todas as unidades, e de maneira geral somente as unidades de alta potência geraram energia suficiente para ativar o cimento resinoso (>300mW/cm²;FAN et al., 2002). A unidade convencional não foi eficiente.

Piva (2004) demonstrou que as densidades de energia, das unidades de Arco de Plasma, LED e Halôgena convencional, capazes de atravessar um disco de cerâmica feldspática de 2mm foram atenuadas em 95%, 96.6% e 97.5% respectivamente. Rogéli et al. (2007) também registraram valores baixos de transmissão de luz, utilizando unidades

halôgenas, que variaram em função da espessura e cor de 8.79% do espécime mais fino e menos saturado a 0.02% para o espécime mais espesso e mais saturado.

O reflexo desta alta atenuação implica também clinicamente, em tempos de fotoativação longos, maiores que os indicados pelos fabricantes. Alguns destes tempos podem chegar até a 80 e 120 segundos para cimentos fotoativados e de 40 a 60 segundos para os cimentos duais, que apesar de terem uma complementação da polimerização por ativador químico, necessitam de uma quantidade mínima de irradiação (CHAN; BOYER, 1989; CARDASH et al., 1993; ODONT; DRICOLL; Von FRAUNHOUFER, 2001). Para ambos os cimentos, tempos menores são possíveis, mas somente para fontes de energia de alta intensidade (>1000 mW/cm<sup>2</sup>) (ODONT; DRICOLL; von FRAUNHOUFER, 2001). Além do mais, cimentos resinosos são resinas compostas e resinas compostas são materiais difusores de luz (COOK, 1980; KAWAGUCHI, FUKUSHIMA, MIYAZAKI, 1994), sendo assim apresentarão comportamento óptico semelhante aos aqui apresentados para as cerâmicas (COOK; McAREE, 1985). Logicamente a espessura de um cimento resinoso (de 80 a 160μm), vai ser menor que uma restauração direta de resina média, além das diferentes composições e proporções de matriz x carga e opacidade (DAVIS, 1988; SCHERRER et al., 1988; GODD et al., 2009). Apesar desta fina espessura, a energia disponível que chega a sua superfície já é bem atenuada e ainda vai ser espalhada e absorvida no seu interior. Neste aspecto, a literatura não apresenta, até o presente momento, maiores informações a respeito das propriedades ópticas dos cimentos, mas podemos fazer mais uma vez um paralelo com as resinas compostas. Santos et al. (2008) demonstraram que a profundidade de penetração da luz das resinas compostas (espessura na qual a intensidade de energia, decresce 37% de seu valor inicial) variou de 0.15mm e 0.09mm para as resinas híbrida e nano híbrida respectivamente, quando não polimerizadas. Após polimerização esta profundidade aumentou, apontando

que as resinas compostas, mudam de comportamento óptico em função da polimerização.

Os autores comentam que esta mudança é regida por causas como concentrações diferentes

de fotoiniciador, estruturação polimérica pós polimerização, e mudança do índice de
refração.

Como todas as resinas, se a fotoativação for insuficiente pode gerar transtornos, tais como, sorção e solubilidade, aumento de volume do cimento, deslocamento e infiltração da restauração, sensibilidade pós operatória e cárie secundária (GOOD et al., 2009) além de absorverem pigmentação proveniente do meio e da dieta (KARAAGACLIOGLU; YILMAZ, 2008).

Seja por ativação foto ou dual, nos parece claro afirmar que a qualidade da polimerização através das cerâmicas, assim como a longevidade da restauração, estão diretamente ligadas a energia disponível para ativar a canforoquinona, energia esta, cujo grau de disponibilidade está diretamente relacionada com as propriedades ópticas das cerâmicas. Propriedades, que variam com a espessura, marca comercial, cor e opacidade do material.

Partindo do princípio, que todos os fatores acima foram contabilizados e a restauração cimentada com sucesso, iremos agora observar seu comportamento óptico sobre o substrato, no qual foi cimentada. Em relação a este aspecto óptico, guardadas as devidas proporções, estenderemos os próximos comentários também às restaurações de metalo-cerâmica.

A figura 5.8 e a tabela 5.25, mostram os valores de espessura óptica infinita (X∞), para todo o intervalo de comprimento de onda estudado (410-700nm). Os valores variam de 7.186mm a 4.721mm para as cerâmicas de corpo e de 5.088mm a 2.729mm para as

cerâmicas de corpo opaco. Todos estes valores estão muito acima para as espessuras de corpo e corpo opaco, normalmente utilizadas em restaurações adesivas (SPEAR; HOLLOWAY, 2008) e também para restaurações de metalo-cerâmica (O'BRIEN; JOHNSTON; FANIAN, 1985; DOUGLAS; PRYBYLSKA, 1999; SHOFU, 1999; IVOCLAR, 2003; NORITAKE, 2005).

Os resultados acima, para a variável X∞, no intervalo de 410 a 700nm, apresentaram praticamente o mesmo perfil, aos apresentados no comprimento de onda de 410-500nm, principalmente para as variáveis X90 X95 e X'∞99.9. Isto equivale a dizer que a variável X∞, foi de maneira geral, influenciada da mesma forma pelos fatores cor, opacidade e marca comercial. De maneira absoluta para cada grupo experimental, seus valores pontuais de espessura são maiores em relação à variável X'∞99.9. Isto ocorreu devido ao aumento da espessura óptica em direção aos comprimentos de onda maiores para todos os grupos experimentais, como está demonstrado nas figuras 5.10, 5.11 e 5.12 e também reportado por Broadbelt, O'Brien e Fan. (1980), Cook e McAree (1985) e O'Brien, Johnston e Fanian (1985). Este aumento na espessura óptica para os comprimento de onda maiores é reflexo da baixa atenuação da luz nestes comprimentos de onda, fato comprovado pelos espectros de absorção e espalhamento observados nos quadros 5.10, 5.11 e 5.12. Esta semelhança de comportamento entre estes dois intervalos de comprimento de onda sugere que um material que permita pouca passagem de luz em 410-500nm, também apresentará de maneira comparativa este mesmo comportamento para o restante do espectro e vice-versa.

O fato das espessuras ópticas X∞ deste estudo, serem bem maiores que as espessura clínicas, normalmente utilizadas nas restaurações, seja para uma restauração adesiva, seja para uma restauração de metalo-cerâmica, indica que clinicamente estes materiais são

translúcidos, logo serão influenciados em maior ou menor grau pelas propriedades ópticas do fundo onde estão posicionadas.

Para podermos avaliar esta influência de um ponto de vista mais clínico, calculamos os Parâmetros de Translucidez de todas as cerâmicas deste trabalho, nas espessuras estimadas de 0.5, 1.25 e 2.00mm. Para o cálculo dos parâmetros de translucidez, as espessuras foram estimadas a partir da espessura observada de 1.00mm, através da Teoria de KM. Cada TP tornou-se uma variável, e foi calculada, a partir das reflexões "preditas", através da equação 4.13, e pelo cálculo dos valores colorimétricos para obtenção de TP, através da equação 4.20, como descrito no capítulo de materiais e métodos.

A equação do Parâmetro de Translucidez é na essência uma equação de diferença de cor, do mesmo material, numa determinada condição experimental, observado sobre fundos branco e preto. Além do mais, leva em consideração os aspectos do iluminante e do observador, importantes para caracterizar a aparência do objeto (LEE, 2007). Este parâmetro vincula a espessura do objeto em questão, com sua aparência. Neste sentido, adotamos além da abordagem estatística, parâmetros qualitativos de diferença de cor. Os valores de TP maiores que 3.3 foram considerados perceptíveis e não aceitáveis pelo observador comum (RUYTER; NILNER; MÖLLER, 1987).

Os resultados pontuais de TP estão dispostos nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7 e nas tabelas 5.21, 5.22 e 5.23. Os resultados, para cada variável e opacidade, variaram de 30.56 a 24.56 para corpo e de 21.786 a 14.53 para corpo opaco para **TP**<sub>0.5</sub>, de 17.09 a 12.33 para corpo e de 10.96 a 4.62 para corpo opaco para **TP**<sub>1.25</sub> e de 10.46 a 6.03 para corpo e de 5.697 a 1.40 para **TP**<sub>2.00</sub>. Podemos observar que para todas as médias, com exceção das cerâmicas de corpo opaco HALOA1BO(2.98±0.40), IPSA35BO(1.91±0.14), HALOA35BO(1.96±0.07),

NORIA35BO(2.02±0.17) e IPSA35B(1.40±0.04) todas na maior espessura (**TP**<sub>2.00</sub>), apresentaram valores maiores que 3,3 e por isso detectáveis e não aceitáveis para o observador comum. Estes resultados confirmam os resultados da espessura infinita, descritos acima, onde nenhum dos materiais testados mascarou completamente o fundo, em espessura clínicas.

Os quadros 5.13, 5.14 e 5.15, apresentam de maneira qualitativa, os perfis espectrais das curvas de refletância utilizadas para os cálculos de TP. Podemos observar que à medida que a espessura aumenta cada par de curvas (obtidas sobre fundo branco e preto) aproximase da refletividade (R∞) de maneira gradual. Comparativamente podemos ver que da menor para a maior espessura, esta aproximação ou convergência a R∞ é não linear. A maior ou menor aproximação das curvas de reflexão reflete diretamente nos valores de TP e no nível de mascaramento do fundo. Os maiores valores são observados na menor espessura, condição onde a distância entre as curvas de reflexão (obtidas em ambos os fundos) é maior (menor mascaramento), ao passo que os menores valores são observados na maior espessura, condição onde a distância entre as curvas é a menor (maior mascaramento). Interessante também lembrar que a aproximação das curvas em direção a R∞, é dependente do comprimento de onda, sendo que o grau de aproximação é sempre maior para os comprimentos de onda inicial (410-500nm) e menor para os comprimentos de onda do final do visível. Como afirmado acima, dentro das espessuras propostas, as cerâmicas são translúcidas o que é confirmado pelas curvas de reflexão, porque em nenhum caso, houve uma convergência total em direção a R∞, mantendo-se afastadas, principalmente na região dos comprimentos de onda amarelos, laranjas e vermelhos. Isto significa que as cerâmicas deste trabalho serão teoricamente mais sensíveis e, menos capazes de mascarar, fundos que apresentem resposta colorimétrica acentuada, nestas regiões do espectro visível. Este comportamento é resultado direto dos perfis de espalhamento e absorção, e logicamente dos fatores cor, opacidade e marca comercial, aspectos já discutidos acima.

O Parâmetro TP, como descrito anteriormente compara as diferenças colorimétricas do material em fundos extremos, no caso branco e preto. Os fundos normalmente envolvidos nas situações clínicas flutuam dentro deste limite. Logo os valores calculados podem ser considerados extremos e logicamente vinculados ao iluminante utilizado, no caso D65 (6500K).

Esta observação é importante, pois as diferenças de cor podem ser mínimas, se o fundo for cromaticamente similar a cor do material e já maiores se o fundo for cromaticamente incompatível com a cor do material

A cromaticidade do fundo influencia diretamente na espessura do material que irá cobri-lo. Spear e Holloway (2008) destacam uma série de cenários para as restaurações adesivas (Tabela 2.2), onde podemos observar que à medida que a cromaticidade do fundo aumenta, a espessura da restauração aumenta também. O comentário do autor nos sugere que o cimento resinoso não é capaz de mascarar o fundo.

Ainda em relação às restaurações adesivas, Karaagaclioglu e Yilmaz (2008), demonstraram que a cor final da restauração foi influenciada significativamente, pela alteração de cor do cimento, dias depois da cimentação, devido ao manchamento por ação do meio.

No caso das coroas de metalo-cerâmicas, Woolsey, Johnston e O'Brien (1984), demonstraram que o opaco cerâmico não é capaz de mascarar o fundo, sendo assim o metal também influencia na cor da restauração.

Jacobs et al. (1987) apontaram que além dos opacos não serem eficientes para mascarar o fundo, algumas cores de corpo apresentavam diferenças de cor em relação aos seus opacos correspondentes, o que resultou em diferenças de cor final, grandes, mesmo quando 1.5mm de cerâmica de corpo era aplicada.

Douglas e Przybylska (1999) mostraram que espessuras de até 2.00mm de cerâmica de corpo não foram capazes de atingir níveis de diferença de cor aceitáveis entre a restauração teste e o controle (escala de cor). Os autores comentaram que devido a esta ineficiência de mascaramento, algumas coroas têm de ser artificialmente pigmentadas e muitas das vezes apresentam sobre contorno, condição esta prejudicial para a saúde do tecido periodontal.

A diferença de cor obtida pelos autores se reflete na alta translucidez do material de corpo, o que coincide com os resultados por nós apresentados.

Dozić et al. testaram uma série de combinações de porcelanas feldspáticas de cobertura e coppings estéticos. Os autores concluíram que a porcelana era eficiente para bloquear o fundo quando uma quantidade de até 75% de corpo opaco era utilizada ou quando somente corpo opaco era utilizado. Os autores conseguiram o resultado acima, em espessuras de 1.0mm.

Esta afirmação do autor confirma a tendência dos resultados observados nas tabelas e gráficos acima, onde os materiais de corpo opaco apresentaram menores valores de TP e X∞, em relação aos materiais de corpo. Este resultado sugere que os materiais de corpo opaco devem sempre ser considerados, para mascaramento de fundo, pois, apresentam maior eficiência, numa menor espessura. Ainda por apresentarem maior eficiência,

acreditamos que poderão também compensar a falta de espaço protético e até propiciar preparos menos profundos.

Em relação às restaurações adesivas, podemos agora neste ponto, fazer uma comparação entre os dois intervalos de comprimento de onda. Observamos como descrito anteriormente, que o perfil das espessuras ópticas em ambos os intervalos, é semelhante. Isto equivale a dizer que o mesmo material pode ser ao mesmo tempo, eficiente na transmissão de luz para fotoativação e ineficiente para mascarar o fundo, onde é aplicado, enquanto outro pode ser ineficiente para fins de fotoativação e ter um alto poder de mascaramento. É uma situação de dupla via, onde o clínico deve, em frente da situação clínica que se apresenta equacionar estas variáveis, para escolher o material e o procedimento mais apropriado.

Pensando sobre as possibilidades de escolha do material, fizemos um esforço em gerar informações que permitam ao clínico, poder estimar o comportamento óptico das cerâmicas aqui utilizadas.

Quando computamos os valores de TP, observamos que seus perfis eram semelhantes aos valores de  $X\infty$ . Realizamos então testes de correlação (Tabela 5.26) e verificamos havia correlação positiva, forte e significante entre  $X\infty$  e cada variável TP. Na seqüência, realizamos então testes de regressão linear (Tabelas 5.27 e 5.28), o que nos permitiu gerar equações de predição do comportamento de  $X\infty$  a partir das variáveis TP. Os resultados (Figura 5.9 e Tabela 5.27) nos permitiram concluir que a melhor predição ocorreu entre  $X\infty$  e  $TP_{2.00}$ , com valores de  $R^2$  = 0.91, explicada pela equação :  $X\infty$  = 0.448\*  $TP_{2.00}$  – 2.316. Mesmo assim para outras duas espessuras, correlações positivas e regressões significantes, também foram obtidas. Como visto durante este trabalho o cálculo de  $X\infty$  é

mais complexo de ser obtido, e a possibilidade de obtê-lo, mesmo por aproximação, através de uma variável mais simples de ser calculada, é extremamente vantajoso. A captação dos dados de TP pode ser conseguida, através da utilização de espectrofotômetros e colorímetros orais de pequeno porte, que já começam a ser vinculados no meio odontológico. Logicamente, mais estudos a respeito desta condição deverão ser feitos para considerar outras variáveis como, por exemplo, outros tipos de iluminantes, fundos e espessuras.

Neste mesmo sentido Davis, Johnston e Saba (1994), utilizaram a teoria KM para predizer o comportamento óptico de cerâmicas feldspáticas, de cores e espessuras diferentes, cimentadas com diferentes cimentos em diferentes fundos cromáticos, através da utilização de colorímetros. Os autores, obtiveram as propriedades ópticas em tri-estímulo (X,Y,Z) e conseguiram a predição do comportamento óptico do material com grande precisão.

Logo, acreditamos que os fabricantes destes aparelhos, poderiam inserir o próprio código KM, em seus sistemas. Lançamos mão aqui extensamente desta teoria, não só para obter as propriedades ópticas estudadas, mas para predizer, o comportamento óptico dos materiais em diferentes espessuras, e fundos experimentais. Vários trabalhos consultados, já recomendam e descrevem a aplicação de KM para os materiais restauradores (DAVIS; JOHNSTON; SABA, 1994; MIYAGAWA; POWERS, 1983; O'BRIEN; JOHNSTON; FANIAN, 1985;) e comparativamente para materiais restauradores e tecidos duros dentais (COOK; McAREE, 1985). Do ponto de vista óptico, Watts e Cash (1994) e Rammohan (2009), recomendam para o estudo das propriedades ópticas de materiais espalhadores de luz, teorias ópticas que levem em consideração os efeitos da reflexão. Estes autores utilizaram outra teoria, no caso

a Lei de Beer, corrigida para compensar os efeitos de reflexão, mas a Lei de Beer, não possibilita a apreciação dos perfis espectrais de "S", "K", "R∞" e "X∞", obtidos todos pela teoria KM.

A teoria KM, também vem sido aperfeiçoada para compensar os efeitos da perda de luz, ou "edge-loss". Estes aperfeiçoamentos incluem a correção de Saunderson (1942), teorias que ajustam seus coeficientes K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub>, o uso de contato óptico entre a amostra e o fundo experimental (DAVIS; JOHNSTON; SABA, 1994; JOHNSTON; O'BRIEN; TIEN, 1986) e também estimativas sobre a influência da perda de luz nas propriedades ópticas do material (JOHNSTON et. al., 1996). Estas correções aprimoraram muito o nível de precisão da teoria KM, desde sua criação por Paul Kubelka e Franz Munk em 1931.

Estas correções, como por exemplo, a utilização do contato óptico não foi por nós detectada, em muitos dos métodos testados na literatura, o que nos levou a não comparar "pontualmente" nossos resultados com os obtidos por outros autores, devidos também a grande diferença entre os métodos em si. Mesmo assim, nossos resultados foram convergentes, com os obtidos na literatura.

Por fim, acreditamos que uma das maiores contribuições deste estudo, além do comportamento da propagação da luz, através das cerâmicas, é o de divulgar o método e a aplicação da teoria KM, e de sugerir sua utilização na clínica. Este método poderia, por exemplo, ser utilizado junto com outros métodos de predição indicado pelos fabricantes, como os procedimentos de "try – in", para a cimentação adesiva. A teoria de KM neste caso poderia gerar uma verdadeira "receita" sobre o tipo e quantidade de material a ser utilizado, além de informar a respeito da qualidade da transmissão de luz para fotoativação do cimento.

Este nível de predição potencializaria o próprio comportamento intuitivo dos profissionais, comportamento este que observa o efeito, mas não o quantifica, assim como também não quantifica a causa do fenômeno observado. Acreditamos que os métodos apresentados e suas correções possam contribuir também, para criar um elo entre a intuição pré-existente e a causa quantificada. Esta ligação pode auxiliar a abrir canais de comunicação entre os profissionais (dentistas e protéticos) com os fabricantes para poder aperfeiçoar cada vez mais o resultado final, constituído por um material mais aprimorado e uma técnica mais adequada, cujo efeito combinado será um melhor nível de bem estar do paciente.

## **7 CONCLUSÕES**

Com base nos resultados obtidos neste trabalho experimental concluímos que:

- Todos os fatores de variação: cor, opacidade e marca comercial, contribuíram significativamente para a atenuação da luz, para todas as espessuras, e para ambos os intervalos de comprimento de onda testados de 410 a 500nm e de 410 a 700nm.
- Em relação à opacidade, levando em consideração a mesma cor e marca, todas as porcelanas de corpo opaco atenuaram mais luz, do que as de corpo, para todas as espessuras e parâmetros de translucidez testados.
- Em relação à cor, levando em consideração a mesma marca, cores mais saturadas (A35 e B3) atenuam, de maneira geral, mais luz do que a cor menos saturada (A1), tanto para porcelanas de corpo, como para as de corpo opaco, para as variáveis "espessura óptica" X<sub>90</sub>, X<sub>95</sub> e X'∞<sub>99.9</sub>, no intervalo de 410-500nm e X∞, no intervalo de 410-700nm, neste último, com exceção da cerâmica Noritake B3 corpo opaco.
- Em relação à marca, a porcelana IPS dSIGN, nas cores A35 e B3, atenua mais luz, em relação as mesmas cores das marcas Vintage Halo e Noritake para as variáveis "espessura óptica", para o intervalos de 410-500nm e de 410-700nm. Entretanto, para o intervalo de 410-700nm, este comportamento apresenta a mesma tendência, mas só é significante para a cor B3.

- Com o aumento da espessura, atenuação aumentou. A relação entre atenuação ou
  extinção e espessura é não linear. Para todas as espessuras a atenuação é sempre
  mais acentuada nos comprimentos de onda do início do espectro visível.
- Os valores de espessura óptica infinita, para ambos os intervalos de comprimento de onda, para todos os materiais, superaram os limites de espessura clínica indicados pela literatura. Isto implica que, no caso do intervalo de 410 a 500nm, a energia transmitida pode girar de 20 a 5% para as porcelanas de corpo, e de 10 a 5%, para as de corpo opaco e, no caso do mascaramento, as porcelanas serão mais influenciadas por fundos que apresentarem resposta colorimétrica acentuada nas regiões alaranjadas e avermelhadas do espectro visível.
- O mascaramento representado pela variável TP foi capaz de estimar a espessura óptica infinita, predizendo assim a espessura do material em função de uma determinada situação colorimétrica.

## REFERÊNCIAS<sup>11</sup>

Agra CM. Avaliação quantitativa de duas cerâmicas frente a diferentes tratamentos de superfície [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

Barghi N, Fischer DE, Vatani L. Effects of Porcelain Leucite Content, Types of Etchants, and Etching Time on Porcelain-Composite Bond. J Esthet Restor Dent 2006;18(1):47-52, discussion 53.

Billmeyer FW, Saltzman M. Principles of color technology. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons; 1981.

Borges GA, Agarwal P, Miranzi BAS, Platt JA, Valentino TA, Santos PH. Influence of Different Ceramics on Resin Cement Knoop Hardness Number. Oper Dent 2008;33(6):622-8.

Brodbelt RHW, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. J Dent Res 1980;59(1)70-5.

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.

Brüguel, W. Quantitative analysis. In: An Introduction to Infrared Spectroscopy. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1962. p.279-86.

Calamia JR. Etched Porcelain Veneers: the Current State of the Art, Quintessence Int 1985;16(1):5-12.

Calamia JR, Calamia CS. Porcelain Laminate Veneers: Reasons for 25 years of Success. Dent Clin North Am 2007;51(2):399-417.

Callister WD Jr. Materials Science and Engineering: An Introduction. 7<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.;2007.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.

Cardash HS, Baharav H, Pilo R, Ben-Amar A. The effect of porcelain color on the hardness of luting composite resin composite cement. J Prostht Dent 1993;69:620-3.

Chan KC, Boyer DB. Curing Light-activated Composite Cement through Porcelain. J Dent Res 1989;68(3):476-80.

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

Claus H, Rauter H. The Structure and Microstructure of Dental Porcelain in Relation to Firing Conditions. Int J Prosthodont 1989;(2):376-84.

Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Lawrence Erlbaum Associates;1988.

Cook WD. Factors Affecting the Depth of Cure of UV-polymerized Composites. J Dent Res 1980;59(5):800-08.

Cook WD. Spectral Distributions of Dental Photopolymerization Sources. J Dent Res 1982;61(12):1438-8.

Cook WD, McAree DC. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. J Biomed Mater Res 1985;19(5):469-88.

Davis BK, Johnston WM, Saba RF. Kubelka-Munk Reflectance Theory Applied to Porcelain Veneer Systems Using a Colorimeter. Int J Prosthodont 1994;7(3):223-7.

Davis DR. Comparison of fit of two types of all-ceramic crowns. J Prosthet Dent 1988;59(1):12-6.

Day RW, Quinn GP. Comparisons of Treatments After an Analysis of Variance in Ecology. Ecolog Monogr 1989;59(4):433-63.

Denry IL. Recent Advances in Ceramics for Dentistry. Crit Ver Oral Biol Med 1996;8(2):134-43.

Donovan TE. Factors Essential for Sucessful All-ceramic Restorations. J Am Dent Assoc 2008;139 Suppl:14S-18S.

Douglas RD, Prybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. J Prosthet Dent 1999;82(2):143-9.

Dozić A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. J Prosthet Dent 2003;90(6):563-70.

Duntley SQ. The optical properties of diffusing materials J Opt Soc Am 1942;32(2): 61-70.

Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. J Am Dent Assoc 2002;133(4):429-34.

Games PA, Howell JF. Pairwise multiple comparison procedures with unequal *n's* and/or variances: a Monte Carlo study. J Educ Stat 1976;1:113-25.

Garber DA, Goldstein RE, Feinman RA. Porcelain Laminate Veneers. Chicago: Quintessence Books;1988.

Garófalo JC. Estudo comparativo das características físicas e ergonômicas de seis aparelhos fotopolimerizadores disponíveis no mercado brasileiro [Dissertação de Mestrado] São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP;2002.

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.

Good ML, Mirchell CA, Pintado MR, Douglas WH. Quantification of all-ceramic crown margin profile from try-in to 1 week post-cementation. J Dent 2009;37(1):65-75.

Griggs JA. Recent Advances in Materials for All-Ceramic Restorations. Dent Clin North Am 2007;51:713-27.

Hawkyard CJ, Bezerra CD. Spectral power distributions for the CIE stimuli. Color Res App 2001;26(6): 478-82.

Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. J Prosthet Dent 2002;88(1):10-5.

International Organization for Standardization. ISO/TS 10650. Dental Equipment – powered polymerization activators. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization;1999

IVOCLAR . IPS d.SIGN Instructions for Use. Liechtenstein;2003

Jaccard J, Becker MA, Wood G. Pairwise multiple comparison procedures: a review. Psychol Bull 1984;96:589-96.

Jacobs SH, Goodacre CJ, Moore BK, Dykema RW. Effect of porcelain thickness and type of metal-ceramic alloy on color. J Prosthet Dent 1987;57(2):138-44.

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

Johnston WM, O'Brien WJ, Tien TY. The Determination of Optical Absorption and Scattering in Translucent Porcelain. Color Res Appl 1986;11(2):125-30.

Johnston WM, Hesse NS, Davis BK, Seghi,RR. Analysis of edge-losses in reflectance measurements of pigmented maxillofacial elastomer. J Dent Res 1996;75(2): 752-60.

Judd DB. Optical Specifications of Light-Scattering Materials. J Res Nat B Stand 1937;19:287-317.

Judd DB. Fresnel reflection of diffuse incident light. Natl Bur Stds J Res 1942;29:329-32.

Judd DB, Wyzecki G. Color in Business, Science and Industry. New York: John Willey & Sons;1975.

Jung H, Friedl KH, Hiller KA, Haller A, Schmalz G. Curing efficiency of different polymerization methods through ceramics restorations. Clin Oral Investig 2001;5(3):156-61.

Karaagaclioglu L, Yilmaz B. Influence of Cement Shade and Water Storage on the Final Color of Leucite-reinforced Ceramics. Oper Dent 2008;33(4):386-91.

Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The Relationship Between Cure Depth and Transmission Coefficient of Visible-light-activated Resin Composites. J Dent Res 1994;73(2):516-21.

Kelly JR. Ceramics in Restorative and Prosthetic Dentistry. Annu Rev Mater Sci 1997; 27:443–68.

Kelly JR. Dental Ceramics: Current Thinking and Trends. Dent Clin North Am. 2004;48(2):513-30.

Kelly JR. Dental Ceramics: What is this stuff anyway? J Am Dent Assoc. 2008;139 Suppl:4S-7S.

Kortum G, Lohr TE. Reflectance spectroscopy. New York: Springer; 1969.

Kubelka P, Munk F. A contribution to the optics of pigments. Z. Technol Phys 1931;12:593.

Kubelka P. New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials Part1. J Opt Soc Am 1948;38(5):448-57.

Kubelka P. New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials Part2. Nonhomogeneous Layers. J Opt Soc Am 1954;44(4): 330-5.

Lamola AA, Turro NJ. Spectroscopy. In: Smith KC. (Ed). The Science of Photobiology. Plenum Press. New York; 1977.p. 27-61.

Lehman ML, Isard JO. X-ray diffraction analysis of dental porcelain. J Dent Res 1969; 48:543–5.

Lee YK. Influence of scattering/absorption characteristics on the color of resin composites. Dent Mater 2007;23(1):124-31.

Linden JJ, Swift Jr EJ, Boyer DB, Davis BK. Photo-activation of Resin Cements through Porcelain Veneers. J Dent Res 1991;70(2):154-7.

Mclean JW. The Science and Art of Dental Ceramics. Volume I: The Nature of Dental Ceramics and their Clinical Use. 1<sup>st</sup> ed .Chicago: Quintessence Books;1979a.

Mclean JW. The Science and Art of Dental Ceramics. Volume II: Bridge Design and Laboratory Procedures in Dental Ceramics. 1<sup>st</sup> ed.Chicago: Quintessence Books;1979b.

McLean JW. Evolution of Dental Ceramics in the Twentieth Century. J Prosthet Dent 2001;85(1):61-6.

Middleton WEK. Pierre Bougher's Optical Treatise on the Gradation of Light (Translation). University of Toronto Press, Toronto;1961

Minolta. Precise Color Comunication – Color Control from Perception to Instrumentation: The essentials of image. Osaka, Konica Minolta Sensing Inc;1998.

Miyagawa Y, Powers JM, O'Brien WJ. Optical properties of direct restorative materials. J Dent Res 1981;60(5): 890-4.

Miyagawa Y, Powers JM. Prediction of Color of an Esthetic Restorative Material. J Dent Res 1983;62(5):581-4.

Molennar R, ten Bosch JJ, Zijp JR. Determination of Kubelka-Munk scattering and absorption coefficients by diffuse illumination. Appl Opt 1999;38(10): 2068-77.

Nomoto R. Effect of Light Wavelength on Polymerization of Light –Cured Resins. Dent Mater J 1997;16(1):60-73.

NORITAKE. Super Porcelain EX-3 Technical Instructions. Aichi;2005

O'Brien WJ, Johnston WM, Fanian F. Double-layer Effects in Porcelain Systems. J Dent Res 1985;64(6):940-3.

O'Brien WJ. Dental Materials: Properties and Selection. Chicago: Quintessence. pp. 397–418; 1989.

Odont FHR, Driscoll CF, von Fraunhoufer JA. Effect of Light source and Time on the Polymerization of Resin Cement Through Ceramic Veneers. J Prosthod 2001;10(3):133-9.

O'Keefe KL, Pease PL, Herrin HK. Variables affecting the spectral transmittance of light through porcelain veneer samples. J Prosthet Dent. 1991;66(4):434-8.

Pegoraro TA, Silva NRFA, Carvalho RM. Cements for Use in Esthetic Dentistry. Dent Clin North Am 2007;51(2):453-71.

Piché PW, O'Brien WJ, Groh CL, Broenke KM. Leucite content of selected dental porcelain. J Biomed Mater Res 1994;28(5):603-9.

Piva E. Efeito da espessura de uma cerâmica feldspática e da dosagem de energia com diferentes aparelhos fotoativados sobre a microdureza de cimentos resinosos de dupla ativação. [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia da UNICAMP;2004.

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.

Preston JD. Perspectives in Dental Ceramics. Proceedings of the Fourth International Symposium on Ceramics. Chicago, Quintessence Books;1988.

Ragain Jr JC, Johnston WM. Accuracy of Kubelka-Munk reflectance theory applied to human dentin and enamel. J Dent Res 2001;80(2): 449-52.

Rammohan VM. Modified Beer's Law – historical perspectives and relevance in near infrared monitoring of optical properties of human tissue. International Journal of Industrial Ergonomics (2009), doi:10.1016/j.ergon.2009.02.011

Richmond JC. Relation of emittance to other optical properties. J Res Nat Bur Stand Sect C 1963;67:217-26.

Rogéli TRC, Paulinelli VMF, Sander HH, Lanza MD, Cury LA, Poletto LTA. Light transmission through porcelain. Dent Mater 2007;23(11):1363-8.

Rosenblum MA, Schulman A. A review of all-ceramic restorations. J Am Dent Assoc 1997;128(3):297-307.

Rosetto FH, Driscoll CF, Prestipino V, Masri R, von Fraunhoufer JA. Light transmission through all-ceramic dental materials: A pilot study. J Prosthet Dent 2004;91(5):441-6.

Rosenstiel SF, Johnston WM. The effects of manipulative variable on the color of ceramic metal restorations. J Prosthet Dent 1988;60(3):297-308.

Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mater 1987;3(5): 246-51.

Santos GB, Monte Alto RV, Sampaio Filho HR, Silva EM, Fellows CE. Light transmission on dental resin composites. Dent Mater 2008;24(5):84-8.

Saunderson JL. Calculation of the color of pigmented plastics. J Opt Soc Am 1942;32, 727-9.

Scherrer SS, Mojon P, Belser UC, Meyer JM. The Vita Hi-Ceram crown system: A clinical and laboratory investigation. J Dent Res 1988;67:214 Abstr.No.811.

Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. <u>J Prosthet Dent</u> 1986;56(1): 35-40.

Shillinburg HT, Jacobi R, Brackett S. Fundamentos dos Preparos Dentários para Restaurações Metálicas e de Porcelana. Tradução e Adaptação Prof. Mário Ueti. Chicago, Quintessence Books;1988.

SHOFU. Vintage Halo Instructions for Use.Kyoto;1999

Southan DE. Dental porcelain. In Scientific Aspects of Dental Materials, ed. JA von Fraunhofer, pp. 277–305. London: Butterworths;1975.

Spear F, Holloway J. Which All-Ceramic System is Optimal for Anterior Esthetics? J Am Dent Assoc 2008;139 Suppl:19S-24S.

Splinter R, Hooper BA. An Introduction to biomedical optics. Series in Optics and Optoeletronics.1<sup>st</sup> ed. Taylor & Francis CRC Press; 2006.

Steagall W. Contribuição para o estudo da fixação de facetas de porcelana de estoque, em arcabouço metálico, utilizando-se: Porcelana, Fosfato de Zinco, Sílico-Fosfato, Policarboxilato, Resina Composta, "Porcelana Metalizada" e Metalo-Cerâmica. [Tese de Doutorado]. São Paulo:Faculdade de Odontologia da USP;1972.

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

Taira M, Okazaki M, Takahashi J. Studies on optical properties of two commercial visible-light-cured composite resins by diffuse reflectance measurements. J Oral Rehabil;1999;26(4): 329-37.

Tango RN. Profundidade de polimerização de cimentos resinosos: efeito de aparelhos fotoativadores e de materiais restauradores indiretos [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia da UNICAMP;2006.

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

van Noort R. Introduction to Dental Materials, 2<sup>nd</sup> ed. London:Mosby; 2002.

Vargas WE, Niklasson GA. Applicability Conditions of the Kubelka-Munk theory. Applied Optics 1997;36:22(1):5580-6.

Watts DC, Cash AJ. Analysis of optical transmission by 400-500 nm visible light into aesthetic dental biomaterials. J Dent 1994;22(2):112-7.

Westland S, Ripamonti C. Computational colour science using MATLAB. 1<sup>st</sup> ed.New York, John Wiley & Sons;2004.

Wood DJ, Shiraishi T, Shinozaki N, van Noort R. Spectral reflectance and color of dentin ceramics for all-ceramic restorations. Dent Mater 2008;24(12):1661-9.

Woolsey GD, Johnston WM, O'Brien WJ. Masking power of dental opaque porcelains. J Dent Res 1984;63(6):936-9.

Zijp JR. Optical Properties of Dental Hard Tissues.[PHD Thesis]. Groningen: University of Groningen;2001.