

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CLÍNICA INTEGRADA**

LEYLA DELGADO

**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS
EXTRACLARAS FOTOPOLIMERIZADAS POR LUZ HALÓGENA E LEDs.
DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES**

**PONTA GROSSA
2004**

LEYLA DELGADO

**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS
EXTRACLARAS FOTOPOLIMERIZADAS POR LUZ HALÓGENA E LEDs.
DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, no Curso de Mestrado em Odontologia – Área de concentração em Clínica Integrada.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Stella Kossatz Pereira

**PONTA GROSSA
2004**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UEPG

D352 Delgado, Leyla
Avaliação da microdureza superficial de resinas
compostas para dentes clareados fotopolimerizadas
por luz halógena e LEDs. / Leyla Delgado. Ponta
Grossa, 2004.

_____f. il.

Dissertação(Mestrado) – Universidade Estadual
de Ponta Grossa

Orientador : Profa. Dra. Stella Kossatz Pereira

1- Microdureza superficial. 2- Resinas compostas.
3- Dentes clareados. I. T.

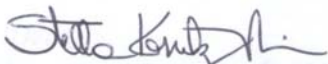
CDD : 617.675

LEYLA DELGADO

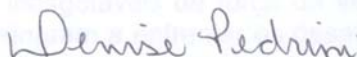
**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS
EXTRACLARAS FOTOPOLIMERIZADAS POR LUZ HALÓGENA E LEDs
DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, no Curso de Mestrado em Odontologia - Área de concentração em Clínica Integrada.

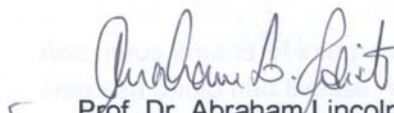
Ponta Grossa, 23 de julho de 2004.



Profa. Dra. Stella Kossatz Pereira - Orientadora
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Profa. Dra. Denise Pedrini
Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Odontologia de Araçatuba



Prof. Dr. Abraham Lincoln Calixto
Universidade Estadual de Ponta Grossa

A *Deus*,

pela sua presença, fundamental para a realização deste trabalho, pois colocou no meu caminho uma família maravilhosa, professores exemplares e amigos verdadeiros.

A meus pais *Aurora e Oswaldo*,

fontes inesgotáveis de força de vida e exemplos de luta, que me ensinaram a enfrentar os desafios por maiores que fossem e a me levantar com cada tropeço. Pela orientação no caminho honesto da vida pessoal e profissional. Por me mostrar que se aprende de cada erro, em pro da formação da personalidade e o aperfeiçoamento moral. Pelo espaço e a liberdade para seguir minha vida profissional. Pela compreensão e amor em todos os momentos, sobretudo durante minha ausência.

Aos meus irmãos *Wendy e Oswaldo*,

sem seu apoio não tivesse realizado uma aventura tão distante.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial para a **Professora Doutora Stella Kossatz Pereira**, minha orientadora. Pelo seu incentivo e conhecimentos transmitidos, pela paciência para me guiar e pela confiança depositada para a realização deste trabalho. Por se haver envolvido de forma tão agradável na realização deste.

À **Professor Doutor João Carlos Gomes**, pela confiança, amizade e oportunidades concedidas.

À **Professor Gilberto Henostroza**, pela confiança depositada e a oportunidade de ser melhor.

À **Vânia, Osnara e Abraham** minha admiração, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação os quais me possibilitaram a aquisição de novos conhecimentos durante este tempo. Pelos comentários e acompanhamento durante todo o processo de pesquisa, que me foram de imensa valia. Pela amizade e confiança.

À **Alessandra Rastelli** pelo seu apoio na realização deste trabalho e pela sua amizade.

À **Professor Doutor Jorim** pelo seu apoio na realização da estatística. Pelo tempo dedicado a me transmitir os conhecimentos necessários para compreender os múltiplos testes aplicados.

À **Faculdade de Odontologia** da Universidade Estadual Ponta Grossa – UEPG, pela oportunidade a mim concedida.

À **Universidade Estadual de Ponta Grossa**, pelo apoio a mim concedido.

Ao **Professor Gelson Adabo**, chefe do Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia, UNESP – Araraquara, por facilitar o uso do microdurômetro digital no laboratório que ele dirige.

À **Cristina Kurachi e Lino Misoguti**, por facilitar o uso do Laboratório de Óptica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP, São Carlos. Pela boa vontade para tirar dúvidas importantes.

À **Morgana Maria das Graças** pelo apoio administrativo, pela eficiência no seu trabalho. Mais do que uma funcionária, uma amiga.

À **Fundação Araucária**, pela concessão da Bolsa de Estudos.

Às empresas **Ivoclar Vivadent, 3M-ESPE, Heraeus Kulzer e Dentsply** pelo fornecimento de matérias e empréstimos de aparelhos necessários para a execução desta pesquisa.

À **José Aguilar e Manuel Lagravère**, amigos e colegas que sempre me incentivaram.

À **Adriana S., Adriana O., Alfredo, Ana Claudia, Andréa, Ariadne, Douglas, Flávia, João Paulo, Maister, Milko, Pelissari e Protásio**. Colegas de turma e amigos que com sua experiência, juventude e cumplicidade fizeram os dias mais agradáveis. Obrigada pelo amor, respeito e carinho imenso.

A **Andréa, Ariadne, João Paulo e Milko**, amigos que me concederam dias inesquecíveis. Amigos nos dias alegres e tristes, amigos em cada dia de aula, amigos nos trabalhos, amigos nos momentos de descontração, amigos e companheiros de viagens. Amigos que me receberam com os braços abertos. Obrigada a suas famílias pela acolhida agradável.

Um agradecimento especial para **Ariadne**, por estar sempre presente, carinhosa e atenta. Pelas agradáveis conversas sobre a vida e nossos sonhos. Pela sua amizade. E, para **Andréa** que com seu carinho e alegria inunda os espaços, por aquele seu jeito. Por me mostrar que a vida é simples e agradável. As três passamos dias inesquecíveis, compartilhando prazeres mútuos. As duas estão sempre no meu coração.

RESUMO

DELGADO, L. **Avaliação da microdureza superficial de resinas compostas extraclaras fotopolimerizadas por luz halógena e LEDs. Descrição das características dos aparelhos fotopolimerizadores.** Ponta Grossa, 2004. 129. Dissertação (Mestrado em Clínica Integrada) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a microdureza superficial de quatro resinas compostas microhíbridas de cor extraclara quando fotopolimerizadas com duas fontes de luz: halógena e LEDs. Paralelamente determinou-se o espectro de emissão (nm) e a potência (W) dos aparelhos testados através do espectrômetro USB2000 (Ocean Optics) e o Power Meter (Ophir) respectivamente. A intensidade de luz (mW/cm^2) foi calculada através do valor da potência e da área da ponta ativa de cada aparelho ($i=P/A$). As resinas compostas utilizadas foram: Tetric® Ceram (Ivoclar Vivadent) A2 e XL, Filtek™ Z250 (3M-ESPE) A2 e B0.5, Charisma® (Heraeus Kulzer) A2 e SL e Esthet X (Dentsply) A2 e XL. Os aparelhos utilizados foram o aparelho Curing Light 2500 (3M-ESPE) e Elipar® FreeLight (3M-ESPE). Para a confecção dos corpos-de-prova foram utilizadas matrizes metálicas que com orifício central de 5 mm de diâmetro por 2 mm de espessura. Os corpos-de-prova foram identificados e armazenados em recipientes secos e ao abrigo da luz durante 24 horas. Passado este tempo, foram submetidos ao teste de microdureza Vickers através do microdurômetro digital MMT-3 (Buehler) com carga de 50 gf durante 30 segundos. Os valores de microdureza foram analisados através da análise de variância multifatorial e teste de Tukey. O teste t para amostras pareadas foi utilizado para determinar diferenças entre as superfícies. Também foi calculada a porcentagem de profundidade de polimerização. Os resultados evidenciaram que o espectro de emissão do aparelho à base de LEDs é mais estreito do que do aparelho de luz halógena, sendo que este último apresentou maior potência e maior intensidade de luz. Os fatores analisados (resina composta, cor e fonte de luz) influenciaram nos valores de microdureza. Concluiu-se que a cor extraclara obteve os menores valores de microdureza independentemente do tipo de fonte de luz utilizada e o aparelho à base de LEDs proporcionou os valores mais baixos de microdureza superficial. A resina composta Tetric® Ceram cor XL atingiu porcentagem de polimerização inferior a 80%, independentemente do tipo de fonte utilizada. As cores A2 e XL da resina composta Charisma® não obtiveram porcentagens de profundidade de polimerização acima de 80% quando fotopolimerizada com o aparelho à base de LEDs.

Palavras-chaves: Dureza; Resina composta; Cor.

ABSTRACT

DELGADO, L. **Evaluation of the superficial microhardness of extra-light composite resins photocured by Halogen Light and LEDs. Description the characteristics of the light sources.** Ponta Grossa, 2004. 129 Dissertação (Mestrado em Clínica Integrada) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

The purpose of this study was to evaluate the superficial microhardness of four extra-light microhibrid composite resins photocured with different types of light curing units: Halogen and LEDs. The emission spectrum (nm) and power (mW) of the curing units were tested using the spectrometer USB2000 (Ocean Optics) and the Power Meter (Ophir). The light intensity (mW/cm^2) was determined through the value of power and area the light guide of each unit ($i=P/A$). The resins and colors used were: Tetric[®] Ceram (Ivoclar Vivadent) A2 and XL; Filtek[™] Z250 (3M-ESPE) A2 and B0.5; Charisma[®] (Heraeus Kulzer) A2 and SL; and Esthet X (Dentsply) A2 and XL. The curing units used were: Curing Light 2500 (3M-ESPE) and Elipar[®] FreeLight (3M-ESPE). Metallic matrixes were made with a hole of 5mm diameter and 2 mm thick. Samples of the resins were made on these matrixes and were marked and stored in dry, dark jars for 24 hours. After this, the samples were evaluated using Vickers microhardness test through the digital microhardmeter MMT-3 (Buehler) with 50 gf charge for 30 seconds. Data collected was analyzed with a mutlifactorial variance and Tukey tests. T-test was used on paired samples to determine significant difference between surfaces. Also was calculated the percentage of depth of cure. Results showed that the emission spectrum of the LED curing unit was more reduced than the halogen curing unit (430–520nm and 400-520nm respectively). Nevertheless, the halogen curing unit presented a greater power and intensity of light. The factors analyzed (type of resin, color and light source) influenced the microhardness values. It was found that the extra-light color resins presented the least values of microhardness independent to the light source. The LEDs curing units presented the least values of superficial microhardness. The Tetric[®] Ceram XL resin composite showed percentage of depth of cure less 80%, independent to the light source. The same occurred with A2 and XL colors the Charisma[®] resin composite when cured with LEDs unit.

Keywords: Hardness; Composite Resin; Color.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Resina composta Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent).....	60
Figura 2	- Resina composta Filtek [™] Z 250 (3M-ESPE).....	60
Figura 3	- Resina composta Charisma [®] (Heraeus Kulzer).....	61
Figura 4	- Resina composta Esthet X (Dentsply).....	61
Figura 5	- Aparelho de luz halógena Curing Light 2500 (3M-ESPE).....	63
Figura 6	- Aparelho à base de LEDs Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)	66
Figura 7	- Região P-N de um Diodo semicondutor LED.....	66
Figura 8	- Vista frontal do aparelho à base de LEDs mostrando a disposição dos 19 LEDs.....	67
Figura 9	- Esquema mostrando a distribuição dos LEDs.....	67
Figura 10	- Matriz metálica.....	73
Figura 11	- Seqüência de colocação dos componentes antes da inserção da resina composta.....	74
Figura 12	- Seqüência de colocação dos componentes após a inserção da resina composta.....	74
Figura 13	- Processo de fotopolimerização controlado por um cronômetro digital	75
Figura 14	- Microdurômetro digital.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da intensidade para 30 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs.....	70
Gráfico 2 - Variação da intensidade para 60 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs.....	71
Gráfico 3 - Variação da intensidade para 90 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs.....	71
Gráfico 4 - Espectro de emissão das duas fontes de luz utilizadas.....	80
Gráfico 5 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent) fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena.....	91
Gráfico 6 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Filtek TM Z250 (3M-ESPE) fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena.....	91
Gráfico 7 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Charisma [®] (Heraeus Kulzer), fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena.....	92
Gráfico 8 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Esthet X (Dentsply), fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena.....	92
Gráfico 9 - Porcentagem de polimerização obtida para os diferentes grupos.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características das resinas compostas.....	59
Tabela 2	- Características dos aparelhos fotopolimerizadores testados.....	62
Tabela 3	- Grupos experimentais.....	72
Tabela 4	- Tabela de registro de dados.....	77
Tabela 5	- Valores de potência e intensidade de luz.....	81
Tabela 6	- Média e desvio padrão para os valores de microdureza.....	81
Tabela 7	- Resultados da análise de variância multifatorial para a superfície de topo.....	82
Tabela 8	- Contraste de médias para interação resina composta e cor para a superfície de topo.....	83
Tabela 9	- Contraste de médias para interação resina composta e tipo de fonte de luz para superfície de topo.....	84
Tabela 10	- Contraste de médias para interação cor e tipo de fonte de luz para superfície de topo.....	84
Tabela 11	- Contraste de médias para a interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz para a superfície de topo.....	85
Tabela 12	- Resultados da análise de variância multifatorial para a superfície de base.....	86
Tabela 13	- Contraste de médias para interação resina composta e cor na superfície de base.....	87
Tabela 14	- Contraste de médias para interação resina composta e tipo de fonte de luz na superfície de base.....	88
Tabela 15	- Contraste de médias para interação cor e tipo de fonte de luz para superfície de base.....	89
Tabela 16	- Contraste de médias para a interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz para a superfície de base.....	89
Tabela 17	- Contraste de médias da superfície de topo e de base.....	93
Tabela 18	- Valores de porcentagem de profundidade de polimerização.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	- Área
au	- Unidades arbitrárias
BisGMA	- 2,2-bis-[4-(2-hydroxy-3-methacryloxy-propyloxy) phenyl]propane
BAPO	- Bis-Acryl-Phosphin oxide
CIE L*a*b*, CIELAB ou CIE76	- Commission Internationale de l'Eclairage, International Commission on Illumination. L*a*b* coordenadas da cor (L*= preto-branco, a*=verde-vermelho, b*=azul-amarelo)
cm	- Centímetro
CQ	- Canforoquinona
DMAEMA	- 2-(N,N-dimethylamino)ethyl metacrylate
DMPT	- N,N-dimethyl-p-toluidine
ESR	- Electron Spin Resonance
FTIR	- Fourier Transform Infrared Spectroscopy
g	- Gramas
gf	- gramas força
G	- Grupo
°C	- grau Celsius
HV	- Hardness Vickers
H ₀	- Hipótese nula
i	- Intensidade de luz
InGaN	- Nitrito de Gálio
ISO	- International Organization for Standardization
J/m ²	- Joule por metro quadrado
kgf	- quilograma força
kgf/mm ²	- quilogramas força por milímetro quadrado
LED	- Light Emitting Diode, Diodos Emissores de Luz
mW	- MiliWatts
mm	- Milímetros
mW/cm ²	- miliWatts por centímetro quadrado
MIR	- Múltipla Reflexão Interna
nm	- Nanômetro
p	- Valor de significância
P	- Potência
PBN	- phenyl- <i>tert</i> -butyl
PPD	- 1-phenyl-1,2-propanedione, Propano Fenil Diona
TEGDMA	- Triethyleneglycol dimethacrylate
UDMA	- Urethane dimethacrylate
µm	- Micrômetro
%	- Porcentagem
®	- Registrado
π	- Valor de pi – constante = 3,1416
X	- Versus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
3	PROPOSIÇÃO	58
4	MATERIAL E MÉTODO	59
4.1	MATERIAL RESTAURADOR.....	59
4.2	APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES.....	62
4.2.1	Descrição dos aparelhos fotopolimerizadores.....	62
4.2.1.1	Aparelho de Luz Halógena: Curing Light 2500 (3M-ESPE).....	62
4.2.1.2	Aparelho à Base de LEDs: Elipar® (3M-ESPE).....	64
4.3	CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES.....	68
4.4	GRUPOS EXPERIMENTAIS.....	72
4.5	CONFEÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA.....	73
4.6	ANÁLISE DA MICRODUREZA SUPERFICIAL.....	76
4.7	PORCENTAGEM DE PROFUNDIDADE DE POLIMERIZAÇÃO.....	78
4.8	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL ESTATÍSTICO.....	78
5	RESULTADOS	80
5.1	CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES.....	80
5.2	MICRODUREZA SUPERFICIAL.....	81
5.2.1	Superfície de Topo.....	82
5.2.1.1	Efeito da interação resina composta e cor.....	82
5.2.1.2	Efeito da Interação resina composta e tipo de fonte de luz.....	83
5.2.1.3	Efeito da Interação cor e tipo de fonte de luz.....	84
5.2.1.4	Efeito da interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz.....	85
5.2.2	Superfície de Base.....	86
5.2.2.1	Efeito da interação resina composta e cor.....	87
5.2.2.2	Efeito da Interação resina composta e tipo de fonte de luz.....	87
5.2.2.3	Efeito da Interação cor e tipo de fonte de luz.....	88
5.2.2.4	Efeito da interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz.....	89
5.3	COMPARAÇÃO DOS VALORES DE MICRODUREZA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE TOPO E DE BASE.....	93
5.4	PORCENTAGEM DE PROFUNDIDADE DE POLIMERIZAÇÃO.....	93
6	DISCUSSÃO	95
7	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	114
	GLOSSÁRIO	120
	APÊNDICE: Dados originais de microdureza Vickers	121

1 INTRODUÇÃO

As resinas compostas permanecem em destaque desde que foram introduzidas na odontologia. O espaço alcançado por este material deve-se a muitos fatores nos quais a estética é considerada a principal. A busca dos profissionais e pacientes por restaurações imperceptíveis instiga a atualização de materiais e técnicas restauradoras que permitem reproduzir a forma, cor e textura natural dos dentes. (PARAVINA; ONTIVEROS; POWERS, 2002).

Outro fator que permitiu a ampla utilização das resinas compostas foi o desenvolvimento dos sistemas adesivos que revolucionaram a odontologia, modificando os conceitos de preparo cavitário e possibilitando a maior conservação das estruturas dentárias sendo esta uma das melhores vantagens. (FRANCO; LOPES, 2003).

As primeiras gerações de resinas compostas que surgiram para uso clínico, apresentavam uma reação de presa química pela combinação de duas pastas (pasta catalisador e pasta base) e tinham como iniciador o peróxido de benzoíla e como ativador uma amina terciária (N,N-dimetil-p-toluidina), os quais permitem a formação de radicais livres, conseqüentemente ocorrendo a formação de polímeros. Com este tipo de ativação as resinas compostas apresentavam uma polimerização uniforme em toda a extensão, porém possuía tempo de trabalho curto e tempo de polimerização longo o que prolongava o tratamento, entretanto, o tornava desagradável para o paciente e cansativo para o dentista. Outra desvantagem está na incorporação de bolhas de ar no momento da mistura das duas pastas, prejudicando a vida média das restaurações. (FRANCO; LOPES, 2003; KAWAGUCHI; FUKUSHIMA; MIYAZAKI, 1994; RUEGGERBERG, 1999).

Para a solução destes problemas surgiram no mercado odontológico as resinas compostas polimerizadas através de sistemas de luz ultravioleta e

posteriormente luz visível. A polimerização através de luz ultravioleta foi substituída por causar danos deletérios na pele e nos olhos, no operador e no paciente. Na atualidade os sistemas de polimerização por luz visível são os únicos utilizados por produzirem danos térmicos e fotoquímicos mínimos na retina. (DAVIS et al., 1985).

No caso das resinas compostas ativadas através de luz visível, os monômeros reagem e formam uma complexa estrutura de polímeros. Porém, a conversão de monômeros em polímeros não atinge 100%, resultando na permanência de monômeros sem reagir. (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001; PEUTZFELDT, 1994; RUEGGERBERG, 1999).

O grau de conversão de monômeros em polímeros é um fator importante porque afeta diretamente a profundidade de polimerização e é afetado por muitos fatores, podendo-se citar: composição do material (KAWAGUCHI; FUKUSHIMA; MIYAZAKI, 1994; SAKAGUCHI; DOUGLAS; PETERS, 1992; UHL; MILLS; JANDT, 2003), natureza dos fotoiniciadores (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001; TESHIMA et al., 2003; UHL; SIGUSH; JANDT, 2004) e intensidade de luz. (ASMUSSEM; PEUTZFELDT, 2001; NOMOTO; UCHIDA; HIRASAWA, 1994; PEREIRA, 1999).

Outras causas podem influenciar na profundidade de polimerização, as quais condicionam alterações das propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas (ASMUSSEM; PEUTZFELDT, 2001; KAWAGUCHI; FUKUSHIMA; MIYAZAKI, 1994), dentre elas pode-se citar o tempo de exposição à luz, espessura do incremento de resina composta, tipo de fonte de luz utilizada, distância da fonte de luz até o material, entre outras. (ANDRADE et al., 2001; CONSANNI et al., 2002; PEREIRA et al., 1997; SAKAGUSHI; DOUGLAS; PETERS, 1992).

Um dos principais fatores que prejudicam a qualidade de polimerização é a redução da quantidade de luz necessária para excitar o fotoiniciador em toda a extensão da resina composta. A intensidade de luz diminui

como resultado da absorção e dispersão da luz. Assim, a superfície que está em contato direto com a fonte de luz apresenta mais fotoiniciadores excitados e maior número de radicais livres gerados para formar polímeros, o que resulta em uma polimerização mais completa nesta superfície. Já em maiores profundidades, a quantidade de luz é reduzida, diminuindo o potencial de polimerização. Por estas descobertas, consagraram-se valores ideais para atingir adequadas propriedades das resinas compostas. O valor para intensidade de luz é de 400 mW/cm^2 associada a tempos de exposição de 40 segundos e espessuras ou incrementos de no máximo de 2 mm. (PEREIRA et al., 1997; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2001; RUEGGEBERG, 1999).

Muitos fabricantes e pesquisadores têm utilizado a canforoquinona (CQ) na formulação das resinas compostas como iniciador do processo de fotopolimerização. A CQ é uma diquetona que absorve energia entre 400 e 500 nm com um pico de absorção em 468 nm. (FRANCO; LOPES, 2003; NOMOTO, 1997; PARK; CHAE; RAWLS, 1999; TESHIMA et al., 2003). Entretanto, a CQ é inerentemente amarela o que causa limitações no momento de fabricar resinas compostas de cores claras ou muito brancas principalmente para aquelas cores indicadas em dentes que submeteram-se a tratamento de clareamento. Maiores concentrações de CQ condicionam melhores propriedades das resinas compostas, porém, resulta em uma restauração extremamente amarela quando polimerizada. (PARK; CHAE; RAWLS, 1999; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 1989; RUEGGEBERG, 1999).

Esforços para melhorar as resinas compostas e conseguir maior estética e longevidade das restaurações, levaram a indústria a pesquisar fotoiniciadores alternativos bem como fontes de luz que ativam as resinas compostas. Assim, fotoiniciadores como Lucerina, 1-phenyl-1,2-propanedione (PPD) e Bis-Acryl-Phosphinoxide (BAPO), estão sendo incluídos na composição de várias

resinas compostas, para se conseguir restaurações mais claras ou translúcidas com finalidade estética, tentando manter ou melhorar o processo de polimerização das mesmas. (FRANCO; LOPES, 2003; PARK; CHAE; RAWLS, 1999; UHL; MILLS; JANDT, 2003).

Paralelamente a estes avanços novas fontes de luz, além dos aparelhos de luz halógena, têm sido lançadas no mercado como uma alternativa de polimerização e para superar as limitações que os aparelhos de luz halógena apresentam.

O sistema de polimerização à base de LEDs estão sendo amplamente difundidos nos últimos anos por apresentarem vantagens em relação aos aparelhos de luz halógena, tais como: maior tempo de vida útil por não apresentar degradação de diversos componentes e tamanho reduzido. Os primeiros aparelhos fabricados com esta tecnologia emitem intensidades de luz baixa, valores que não se comparam com o valor anteriormente citado, para obter adequada polimerização em tempo clinicamente aceitável. (LEONARD et al., 2002; MILLS; ASHWORTH, 1999; MILLS; UHL; JANDT, 2002). Outra limitação é o estreito comprimento de onda da luz emitida pelos aparelhos, entre 450 e 500 nm, o que é ótimo para a CQ, entretanto inadequado para os novos fotoiniciadores (400 a 450 nm) que estão incorporados na formulação de alguns materiais. (SWIFT JR., 2001).

Tendo conhecimento de que os resultados desta pesquisa são de interesse tanto para os pesquisadores como para os profissionais da área odontológica, em função da constante busca por aparelhos de polimerização mais eficientes e práticos em diversas situações clínicas, objetivou-se neste estudo comparar a eficiência da polimerização da resina composta com aparelho à base de LEDs e lâmpada halógena através do teste de microdureza superficial, bem como algumas de suas limitações na polimerização de cores extraclaras de diferentes resinas compostas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O grau de polimerização de uma resina composta fotopolimerizável é dependente da intensidade e do comprimento de onda da luz incidente. Baseado neste conceito Kilian (1979) estudou a profundidade de polimerização de resinas compostas ativadas por luz visível, através de medidas de dureza Rockwell. O autor confeccionou amostras de 3 mm de espessura e as polimerizou por 60 segundos. Manteve-as armazenadas por 1 e 24 horas à temperatura de 37°C antes de submetê-las ao teste de dureza. A resina composta utilizada foi o sistema Fotofil (Johnson & Johnson). O autor concluiu que a profundidade de polimerização de uma resina composta depende da intensidade de luz incidente, pois constatou aumento dos valores de dureza conforme o aumento da intensidade de luz. Os valores de dureza aumentaram na superfície mais próxima à luz em relação ao fundo e com o maior tempo de armazenamento.

Miyagawa; Powers e O'Brien (1981) com a finalidade de calcular a opacidade de diferentes espessuras de resina composta e determinar a constante óptica de reflexão das mesmas, testaram as seguintes resinas compostas: Concise (3M) cor universal, Nuva-Fil (L.D. Caulk) cor Light, Prestige (Lee Pharmaceuticals) cor Universal, Sevriton (Amalgamated Dental Trade) cor S5-Light Yellow e Vytol (L.D. Caulk). Para a mensuração no espectrofotômetro os autores utilizaram superfícies de apoio branca e preta. A avaliação da constante óptica incluía a reflexão da luz, coeficiente de dispersão e o coeficiente de absorção a qual foi calculada em 1,3 mm de espessura. Para as espessuras de 2,6 mm e 3,9 mm os resultados foram calculados através da teoria de Kubelka-Munk. Não encontraram diferenças entre os valores observados e os calculados. Os autores concluíram que a opacidade *in vitro*

do material é dependente da cor e da espessura do material, e da cor da superfície de apoio no espectrofotômetro.

Yearn (1985) realizou uma revisão de literatura de três métodos de determinação de profundidade de polimerização que reproduzem *in vitro* o que ocorre clinicamente com as resinas compostas. Os métodos foram: raspagem, dureza superficial e grau de conversão. Segundo o autor, o teste de raspagem é simples, mas não oferece boa avaliação da qualidade de polimerização. O teste de dureza superficial é simples e confiável. Para o teste de grau de conversão de monômeros existem duas modalidades de avaliação: múltipla reflexão interna (MIR) e espectroscopia laser Raman. As duas modalidades quantificam o número de grupos metacrilato presentes na resina composta, antes e depois da aplicação da luz. Porém, o teste de grau de conversão de monômeros apresenta uma metodologia complexa e custosa, o que o caracteriza como um método pouco viável como procedimento de rotina. Os resultados deste teste têm sido similares aos resultados de microdureza superficial. O autor concluiu que o teste de dureza superficial é um método eficiente na determinação da profundidade de polimerização para corpos-de-prova de resinas compostas confeccionadas em matrizes metálicas. Entre os fatores que determinam a profundidade de polimerização das resinas compostas, os autores destacaram a formulação química do material, condições do aparelho fotopolimerizador, intensidade de luz e distância da fonte de luz e a superfície da resina composta.

Hotz et al. (1989) realizaram um experimento *in vitro* para comparar o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores (recém fabricados e os utilizados em clínicas dentárias) através do teste de dureza. Os aparelhos estudados foram: Heliomat (Vivadent), Optilux VLC 200 (Demetron Res. Corp.), Translux CL (Kulzer) e

Visilux 2 (3M). Para cada um dos aparelhos havia à disposição um fotopolimerizador novo para fins comparativos. A resina composta utilizada para a confecção dos corpos-de-prova foi Brilliant Lux (Coltène/Whaledent) cor D3. Os tempos de exposição foram de 30 e 60 segundos. As dimensões das amostras foram de 6 mm de diâmetro por 5 mm de altura. Foi padronizada a distância da ponta ativa à amostra em 0,3 mm em ângulo reto durante a exposição. As amostras foram armazenadas por 24 horas à temperatura de 37°C em ambiente úmido. Foram feitos testes de dureza Knoop na superfície de topo e aos 2 mm, 3 mm e 4 mm de profundidade. Os resultados mostraram que após a polimerização por 30 segundos ou mais, camadas maiores que 2 mm apresentaram endurecimento incompleto da base. Valores inferiores de dureza foram obtidos na superfície de topo para profundidades de 3 mm e 4 mm de resina composta, independentemente se o aparelho utilizado foi novo ou antigo. Os autores concluíram que camadas superiores a 2 mm apresentaram polimerização incompleta, mesmo que o tempo de exposição tenha sido elevado até 60 segundos. Os cabos condutores rígidos foram superiores aos flexíveis e aparelhos que apresentaram regulador de voltagem não sofreram influência de variações de tensão elétrica.

Em vista da necessidade dos conhecimentos técnicos por parte do operador, Lutz; Kreji e Frischknecht (1992) descreveram os critérios de seleção dos aparelhos de fotopolimerização bem como as instruções para adequada manutenção técnica e funcional, incluindo procedimentos de limpeza, desinfecção e avaliação de rendimento. Os autores recomendaram os aparelhos de fotopolimerização do tipo pistola ou caneta em substituição aos de cabo condutor flexível, por estes serem sensíveis a fenômenos físicos, tais como dobras e esmagamentos que levam a rompimentos e perda de rendimento. Os aparelhos de fotopolimerização apresentam

diversos componentes que devem estar sujeitos a manutenção periódica. Assim, o uso de radiômetros é importante para manter a emissão de luz constante. Também recomendaram a avaliação do rendimento dos aparelhos através de testes de raspagem e abrasão. Os autores consideraram como valor mínimo aceitável ou polimerização completa nas camadas mais profundas do material, proporções $\geq$ a 80% da dureza máxima determinada na superfície, para 2 mm de espessura do material, tempo de exposição de 40 segundos e distância de 1 mm da ponta ativa até a resina composta. A manutenção técnica dos aparelhos deve ser imediatamente após determinar-se a perda de rendimento ou quatro vezes ao ano, dependendo da frequência de utilização.

Desde que a contração de polimerização está associada ao grau de polimerização das resinas compostas, Sakaguchi; Douglas e Peters (1992) avaliaram a alteração destas segundo o efeito da intensidade de luz, cor, espessura do material e distância da fonte de luz até o material. As resinas compostas testadas foram: P-50/ 3M (U, XL, G, Y), Silux Plus/3M (U, G, DG, L), Herculite XR/Kerr (U, DG, L, DY). Utilizou-se o aparelho Visilux 2 (3M). Com ajuda de um radiômetro foi mensurada a intensidade de luz do aparelho a diferentes distâncias, desde 0 mm até 15 mm, com intervalos de 0,25 mm. A distância foi considerada entre a ponta ativa da fonte de luz até o detector do radiômetro. As amostras foram preparadas com espessuras entre 0,9 mm e 3 mm e polimerizadas por 60 segundos. Os resultados correspondentes à intensidade de luz mostraram que esta diminuiu rapidamente ao aumentar a distância entre a fonte de luz e o radiômetro. Aos 2 mm de distância atingiu-se 93% da intensidade máxima e aos 6 mm 59%. A contração de polimerização diminuiu com o aumento da espessura da amostra, independentemente do tempo, intensidade de luz e do material avaliado. Para a

variação da cor, os resultados mostraram que as cores claras e escuras apresentaram menor contração de polimerização do que as cores intermediárias. Os autores concluíram que existe uma relação linear entre a contração de polimerização e a intensidade de luz.

Turbino et al. (1992) pesquisaram a relação existente entre a microdureza Vickers e a profundidade de polimerização (1 mm, 2 mm e 3 mm) com o tempo de exposição (20 segundos e 40 segundos) e o tempo de armazenamento (imediatamente e após 24 horas) de 8 resinas compostas (Silux, P-30, Heliolit, Estilux P, Durafill, Herculite XR, Prisma-Fil e Ful-Fill). Os corpos-de-prova com dimensões de 3 mm x 4 mm x 3,5 mm foram confeccionados em matrizes de poliacetato. Os autores encontraram diferenças estatisticamente significantes para o tempo de exposição e o tempo de armazenamento, sendo que o armazenamento por 24 horas associado ao tempo de exposição de 40 segundos obteve os maiores valores de microdureza quando comparado aos 20 segundos, independentemente da resina composta utilizada.

Hansen e Asmussen (1993) avaliaram uma resina composta de micropartículas (Silux Plus - 3M) através de testes de microdureza Vickers e de raspagem. Selecionaram 10 diferentes marcas de aparelhos com luz halógena, dividindo-os em 3 grupos: unidades novas, unidades usadas e unidades danificadas. Os valores de microdureza foram determinados na superfície de base e topo dos corpos-de-prova que foram confeccionados em matrizes de teflon com 3,6 mm de diâmetro. Foram realizadas 5 impressões em cada superfície após 7 dias de armazenamento. A profundidade de polimerização foi determinada pelo teste de raspagem. Os autores concluíram que não existe uma correlação entre a microdureza superficial (superfície de topo) e a profundidade de polimerização,

estabelecendo que não se deve medir a eficácia de um aparelho fotopolimerizador baseando-se na microdureza da superfície de topo de uma resina irradiada, pois, um aparelho com baixa emissão de luz pode proporcionar à superfície de topo, efetiva polimerização, porém na superfície de base a resina pode apresentar uma polimerização deficiente.

Com a finalidade de determinar o coeficiente de transmissão de resinas compostas ativadas por luz visível de diferentes cores e tipos de partículas e avaliar a relação existente entre o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização, Kawaguchi; Furushima e Miyazaki (1994) testaram 6 diferentes resinas compostas: Silux Plus/3M (XL, U, Y, NB, NC, GO, DGO), Clearfil Photo Posterior/Kuraray (XL, UL, US, UY, G, B), Photo Clearfil A/Kuraray (XL, UL, US, UY, G, B, UO), P-50/3M (XL, U, Y, G), Opalux/ICI (L, S, LY, Y, G, DY, DYO, GO, SO, YO, YBO, DGO), Occlusin/ICI (XL, S, DY, LG), Palfique light/Tokuyama (XL, L, U, DY, B, UO, YO) e Palifique Estilite/Tokuyama (INC, L, U, DY, B, UO, YO). Em relação ao tipo de partículas, as resinas compostas foram classificadas como: micropartículas (Silux Plus), híbridas (Clearfil Photo Posterior, Photo Clearfil A, P-50, Opalux, Occlusin) e partículas pequenas (Palfique light, Palifique Estilite). Para avaliar a profundidade de polimerização utilizou-se a técnica de raspagem conforme a especificação da International Organization for Standardization (ISO) 4049. O aparelho fotopolimerizador de luz halógena utilizado foi o LUXOR (ICI). Os resultados mostraram que para todas as resinas compostas testadas, a profundidade de polimerização e o coeficiente de transmissão variaram segundo a cor. As cores claras (XL, L ou INC) apresentaram maiores profundidades de polimerização e coeficiente de transmissão, quando comparadas com outras cores de suas respectivas marcas, exceto para a resina composta P-50.

Nomoto; Uchida e Hirasawa (1994) estudaram a influência da intensidade de luz e do tempo de irradiação sobre resinas compostas. Os autores pesquisaram a profundidade de polimerização, distribuição do grau de conversão, conversão de polimerização e a porcentagem de ligações duplas livres. Utilizaram três resinas compostas Z100 (3M), Silux Plus (3M) e Clearfil Photo Posterior (Kuraray). Variou-se a intensidade de luz variando a distância entre a ponta ativa e o corpo-de-prova. Quanto maior a intensidade de luz precisou-se de menor tempo de exposição para conseguir densidade de energia constante (intensidade de luz vezes tempo de exposição). Independentemente das combinações entre intensidade de luz e tempo, quando a densidade de energia foi constante, não houve diferenças nos resultados das variáveis testadas.

Araújo; Araújo e Mendes (1996) realizaram restaurações de classe V nas superfícies vestibulares de dentes molares e pré-molares com a finalidade de avaliar a relação existente entre a intensidade de luz de diferentes aparelhos fotopolimerizadores e a infiltração marginal. Os aparelhos testados foram: Primelite/Dentsply (50 mW/cm^2), Fibrilux/Dabi Atlante (180 mW/cm^2), Degulux/Degussa (450 mW/cm^2), Optilux/Demetron Res. Corp. modelo 403 (600 mW/cm^2), Optilight II/Gnatus (600 mW/cm^2), Optilux/Demetron Res. Corp. modelo VCL 401 (800 mW/cm^2). A intensidade de luz dos aparelhos foi mensurada com auxílio do radiômetro Curing Radiometer (Demetron Res. Corp.). A resina composta testada foi Z100 (3M) com o sistema adesivo Scotch Bond Multipurpose (3M), através da técnica incremental em 2 camadas. Os resultados evidenciaram diferenças significantes na infiltração marginal das restaurações polimerizadas com os aparelhos Primelite e Optilux 401. Qualquer outra comparação de intensidade de luz dos aparelhos resultou numa diferença não significativa entre as respectivas

infiltrações marginais apresentadas nas restaurações. Os autores concluíram que intensidades de luz entre 180 e 600 mW/cm² mostraram-se adequadas para o selamento de restaurações de resina composta e que intensidades de luz de 800 mW/cm² promoveram melhor polimerização, porém, maior contração de polimerização e infiltração marginal.

Para determinar que a polimerização da resina composta não depende só da quantidade de luz mas também da qualidade desta (comprimento de onda), Nomoto (1997) avaliou através do grau de conversão (GC) e conversão de polimerização (CP), a influência do comprimento de onda da luz sobre a polimerização de uma resina composta experimental e determinou o comprimento de onda mais eficiente. Para obter diferentes comprimentos de onda utilizaram-se filtros mantendo-se a intensidade de luz constante. Os resultados indicaram que aos 5 segundos de irradiação tanto GC quanto CP foram afetados pelo comprimento de onda. A influência do comprimento de onda na polimerização foi reduzindo gradualmente na medida em que o tempo de exposição aumentou. Para cada tempo de exposição o comprimento mais adequado foi aquele mais próximo ao pico de absorção da CQ (470 nm). O autor concluiu que a absorbância da CQ afetou a etapa inicial da polimerização e o efeito do comprimento de onda diminuiu com o aumento do tempo de exposição, sendo que o intervalo mais adequado foi entre 450 e 490 nm.

Pereira et al. (1997) avaliaram a capacidade de polimerização de uma resina composta por meio do teste de microdureza Vickers. Foi utilizada a resina composta Herculite XR (Kerr) cor L- Enamel, fotopolimerizada em função de diferentes intensidades de luz e profundidades de polimerização. Foram selecionados 120 aparelhos fotopolimerizadores, de diferentes modelos e marcas

comerciais, dos quais foram registrados os valores de intensidade de luz emitida, utilizando o radiômetro Curing Radiometer (Demetron Res. Corp.). Posteriormente, os aparelhos foram classificados em 12 grupos, conforme o valor de intensidade de luz encontrada. Os intervalos de intensidade de luz foram 30, 90, 100, 180, 200, 260, 360, 460, 540, 550, 600 e 800 mW/cm^2 . As profundidades foram 1 mm, 2mm, 3mm e 4 mm com tempo de exposição à luz de 40 segundos. Os autores relataram que valores máximos de microdureza foram obtidos com intensidades acima de 550 mW/cm^2 independentemente da profundidade e que somente aparelhos que emitiram intensidade de luz de 800 mW/cm^2 proporcionaram uniformidade de polimerização em 4 mm de espessura de resina composta.

Fujibayashi et al. (1998) avaliaram aparelhos à base de diodos emissores de luz (LEDs) como alternativa de fotopolimerização. Foram determinadas as características ópticas dos aparelhos. As variáveis testadas para avaliar a eficiência desta nova tecnologia foram: profundidade de polimerização e grau de conversão de monômeros. Os aparelhos testados foram LED1 e LED2 (61 LEDs - Nichia Chemical Industries) e um aparelho de luz halógena Optilux (Demetron Res. Corp.). Utilizaram a resina composta Silux Plus (3M). A avaliação da profundidade de polimerização foi realizada através do teste de raspagem seguindo as normas ISO 4049/1988. Os tempos de exposição na superfície de topo foram 10, 20, 30 e 40 segundos. Para avaliar o grau de conversão, os corpos-de-prova foram expostos à luz por 40 segundos. As características ópticas dos aparelhos mostraram que o aparelho de luz halógena apresentou um comprimento de onda entre 380 e 510 nm, o aparelho LED1 entre 380 e 600 nm e o aparelho LED2 entre 430 e 550nm. Os resultados revelaram que o aparelho LED2 promoveu maior profundidade de

polimerização e grau de conversão na resina composta avaliada, concluindo que a tecnologia LED foi efetiva e pode ser utilizada.

Considerando que as condições do aparelho fotopolimerizador influenciam na intensidade de luz emitida por estes, Miyazaki et al. (1998) avaliaram a intensidade de luz de aparelhos de diferentes consultórios dentais particulares. Após a primeira avaliação foram substituídos o filtro, a lâmpada e a ponta ativa, assim, novos valores de intensidade de luz foram registrados depois de trocar cada componente e depois de trocar todos em conjunto. Foram avaliados um total de 105 aparelhos de fotopolimerização os quais apresentaram intensidades que flutuavam entre 28 e 1368 mW/cm². A substituição de cada componente dos aparelhos resultou em um aumento da intensidade de luz de 36% no caso das lâmpadas, 157.7% para os filtros e 46.2% para as pontas ativas. Quando foram substituídos os três componentes, o aumento da intensidade de luz esteve em torno de 322.7%.

Vieira et al. (1998) avaliaram cinco aparelhos de fotopolimerização com o intuito de analisar a irradiação por eles emitida. Os aparelhos testados foram: Optilight (Gnatus), Ultralux (Dabi Atlante), XL1500 (3M), Optilux 400 (Demetron Res. Corp.) e Translux CL (Kulzer). Foram analisadas as características da fonte de radiação da luz (lâmpada), a transmitância dos filtros e o desempenho da ponteira óptica ou ponta ativa. Com os resultados verificou-se que os filtros permitiram a passagem de comprimentos de onda entre 350 e 530 nm, com valores médios de 70% da energia emitida nesta faixa. A maior concentração de energia ocorreu na faixa entre 430 e 470 nm. Para o conjunto fonte de radiação/filtro as leituras estiveram no intervalo entre 380 e 530 nm. Para o conjunto fonte de radiação/filtro/ponta ativa foram iguais aos obtidos para o conjunto fonte de radiação/filtro o que demonstrou que as ponteiras analisadas não promoveram perda

de energia. Desde que os filtros mostraram-se eficientes e permitiram a passagem da luz no comprimento de onda adequado. Os autores também concluíram que os radiômetros podem ser utilizados de forma segura.

Para avaliar a profundidade de polimerização e a microdureza Knoop, Dunn et al. (1999) testaram as resinas compostas Herculite XRV nas cores B1 e C4. O aparelho utilizado foi TriLight (3M-ESPE) em três estágios distintos: standard (800 mW/cm²), exponencial (100 mW/cm² até 800 mW/cm²) e médio (400 mW/cm²). O tempo de exposição foi de 40 segundos. Utilizaram o teste de raspagem para avaliar a profundidade de polimerização. Os resultados encontrados pelos autores não mostraram diferenças estatísticas quando a cor B1 foi polimerizada com os diferentes métodos de polimerização. Para a cor C4 os valores de microdureza foram afetados pelo método de polimerização utilizado sendo maiores quando polimerizado com o método standard.

Mills; Jandt e Ashworth (1999) compararam a profundidade de polimerização atingida por um aparelho de luz halógena Coltolux 4 (Coltène/Whaledent) com intensidade de luz de 455 mW/cm² e um aparelho experimental à base de LEDs com arranjo de 25 LEDs azuis (Nichia Chemical Industries). Os tempos de exposição utilizados foram os recomendados pelos fabricantes para cada resina composta 40, 60 e 40 segundos respectivamente. As resinas compostas utilizadas foram: Silux Plus (3M) cor U, P50 (3M) cor U e Z100 (3M) cor A 3,5. Utilizaram-se matrizes com 4 mm de diâmetro e 6 mm de profundidade. Seis corpos-de-prova foram confeccionados para cada resina composta e aparelho em teste. Para avaliar a profundidade de polimerização foi utilizado um penetrômetro, o qual apresentava uma agulha de 0,5 mm conectada a um peso de 1250 g. Foi mensurada a densidade de potência e espectro dos

aparelhos. Quando analisaram os espectros de emissão dos aparelhos, os autores observaram que os aparelhos à base de LEDs apresentaram alta irradiação na região do pico de absorção da CQ (468 nm), fato que explicaria os valores de profundidade de polimerização obtidos nas resinas compostas quando foram utilizados estes aparelhos. Os resultados da pesquisa mostraram que os aparelhos à base de LEDs testados foram capazes de gerar graus similares de profundidade de polimerização quando comparados com um aparelho de luz halógena calibrado em 300 mW/cm^2 .

Freqüentemente utiliza-se a CQ como fotoiniciador em combinação com uma variedade de agentes redutores. A CQ é um alfa dicarbonil o qual absorve energia a 468 nm, conseqüentemente, é um efetivo fotoiniciador quando combinado com um doador de elétrons. Porém, a CQ é inerentemente amarela, o que causa problemas no momento de produzir a cor das resinas compostas. Este fato limita a concentração de CQ que pode ser utilizada na formulação, limitando o grau de polimerização e a profundidade de polimerização que pode ser atingido. Assim, Park; Chae e Rawls (1999) avaliaram o efeito sinérgico da combinação da CQ com um novo fotoiniciador: 1-phenyl-1,2-propanedione (PPD). Os autores questionaram a possibilidade de o PPD ser um fotoiniciador adequado para ser incluído na composição de resinas compostas com similar ou melhor eficiência do que a CQ. Para este efeito utilizaram uma mistura de monômeros 2,2-bis-[4-(2-hydroxy-3-methacryloxy-propyloxy) phenyl]propane - BisGMA (30 mol%), Urethane dimethacrylate - UDMA (40mol%) e Triethyleneglycol dimethacrylate - TEGDMA (30 mol%) para a formulação da resina composta. Os pesquisadores produziram diferentes materiais fotopolimerizáveis variando a quantidade de CQ e PPD. Avaliaram o efeito do tipo de fotoiniciador (CQ ou PPD) e o efeito da relação de

fotoiniciadores (PPD/CQ) no grau de conversão de monômeros em polímeros através de espectroscopia por transformação infravermelha de Fourier ou Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Os resultados mostraram que o PPD serviu como um eficiente fotoiniciador quando comparado com a CQ para a iniciação da polimerização da resina composta. O PPD e a CQ agiram como fotoiniciadores sinérgicos produzindo maior grau de conversão quando $PPD/CQ = 1:1$ e $1:4$, provavelmente porque o PPD e a CQ utilizaram diferentes mecanismos de formação de radicais livres. Os autores concluíram que o PPD é um fotoiniciador de valor potencial que permite reduzir os problemas associados à cor das resinas compostas.

Pereira (1999) avaliou a relação da dureza superficial da resina composta com a intensidade de luz, a cor, o tempo de exposição e a profundidade do material com o propósito de investigar um ponto de estabilização da dureza em função da variação da intensidade de luz. Para tal, utilizou-se a resina composta Charisma (Heraeus Kulzer) nas cores A1 e C4. Diversas intensidades de luz foram avaliadas: 300, 350, 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 600, 650 e 700 mW/cm². Estes valores de intensidade de luz foram associados a 40 e 60 segundos de exposição à luz. Os resultados indicaram que a polimerização da resina composta testada variou quando submetida a diferentes intensidades de luz, tempos de exposição, cores e profundidades. Para todos os valores de intensidade de luz houve uma redução da dureza conforme o aumento da profundidade. O tempo de exposição de 60 segundos promoveu maiores valores de dureza quando associado a todas as intensidades de luz exceto com a intensidade de 550 mW/cm² o qual foi igual quando associado a 40 segundos. A cor C4 atingiu maiores valores de dureza quando associada a tempos de 60 segundos. A autora concluiu que a partir dos resultados obtidos, não foi possível a determinação de um ponto de estabilização da dureza entre as intensidades de luz de 300 e 700 mW/cm².

Whitters (1999) pesquisou a aplicação de aparelhos de fotopolimerização à base LEDs. Um aparelho à base de LEDs foi confeccionado com 6 diodos em duas modalidades (40 e 60 mA), o qual foi comparado com um aparelho de luz halógena Aristolite (Litema GDS). O autor realizou testes *in vitro* com 3 materiais polimerizáveis: Tetric (Ivoclar Vivadent) cor A3, Z100 (3M) cor A3.5, Compoglass-F (Ivoclar Vivadent) cor A3. Para a polimerização, os aparelhos foram situados a 10 mm da superfície da amostra para manter a mesma intensidade de luz homogênea. Foi realizado o teste de microdureza Knoop sendo confeccionados 5 corpos-de-prova com exposição de 60 segundos. Além do teste de microdureza, foi realizado o teste de contração de polimerização e alteração de temperatura. Os resultados de microdureza evidenciaram pequenas diferenças entre os resultados dos aparelhos, independentemente da tecnologia. Os valores médios da contração de polimerização foram independentes dos aparelhos e dos materiais (Tetric – 1,1%, Z100 – 1,2% e Compoglass F – 1,3%). Menores valores de alteração de temperatura foram atingidos com o aparelho à base de LEDs nas duas modalidades ($4,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ – LED 40 mA, $4,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ – LED 60 mA) quando foram comparados com o aparelho de luz halógena ($4,8 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$). O autor concluiu que os aparelhos à base de LEDs testados apresentaram um comportamento semelhante ao aparelho de luz halógena, pois produziram propriedades semelhantes nos materiais. Também recomendou seu uso em combinação com resinas compostas na prática clínica.

Jandt et al. (2000) compararam a efetividade de aparelhos à base de LEDs e de luz halógena em função das forças de compressão e profundidade de polimerização, além de comparar as características de irradiação e espectros de emissão. A resina composta utilizada foi Spectrum TPH (Dentsply) nas cores A2 e A4 polimerizada por 40 segundos para cada aparelho em teste (Spectrum

201R/Dentsply DeTrey e LED-27 LEDs/Nichia Chemical Industries Ltda). Um penetrômetro foi utilizado para mensurar a profundidade de polimerização utilizando um peso de 1250 g. Para avaliar-se as forças de compressão foram confeccionadas amostras de 4 mm de diâmetro e 6 mm de espessura para cada cor. Com base nos resultados, os autores afirmaram que o aparelho de luz halógena proporcionou maiores profundidades de polimerização que o aparelho à base de LEDs. Os baixos valores obtidos pelo aparelho à base de LEDs foram atribuídos à baixa intensidade do aparelho (350 mW/cm^2) comparada com a intensidade apresentada pelo aparelho de luz halógena (755 mW/cm^2). Os dois aparelhos proporcionaram profundidades de polimerização maiores aos recomendados pela ISO 4049 e pelos fabricantes.

Kurachi et al. (2000) avaliaram a microdureza Vickers de uma resina composta polimerizada com cinco aparelhos LEDs (arranjos de 2, 3, 4, 5 ou 6 unidades LEDs - Nichia Chemical Industries) e um aparelho de luz halógena KM-200R (DMC-LTDA). Os autores confeccionaram corpos-de-prova com a resina composta Z100 (3M), cor A3, de diferentes espessuras: 0,35 mm, 1,25 mm e 1,8 mm. A intensidade do aparelho de luz halógena foi ajustada em 475 mW/cm^2 com tempo de 40 segundos e para os aparelhos LEDs foram utilizados 5 tempos de exposição (20, 40, 60, 120 e 180 segundos) sendo as intensidades de 25, 34, 46, 68, 79 mW/cm^2 respectivamente. Todas as resinas compostas fotopolimerizadas com os aparelhos à base de LEDs, mostraram valores de microdureza inferiores aos resultados das lâmpadas halógenas convencionais, independente do tempo e da espessura. Todas as resinas compostas, independente da espessura, necessitaram de 120 segundos de exposição com aparelhos à base de LEDs para conseguir valores de microdureza comparáveis aos valores conseguidos pela exposição de 40

segundos com o aparelho de luz halógena. Independentemente da espessura, o aparelho com 6 LEDs foi mais efetivo na polimerização da resina composta, concluindo que os maiores valores de microdureza foram sempre encontrados com o maior número de LEDs ou maior intensidade para todos os tempos. Os autores ressaltaram os razoáveis valores de microdureza obtidos com os aparelhos LEDs considerando as baixas intensidades.

Poulos e Styner (1999/2000) compararam as alterações da intensidade de luz dos aparelhos fotopolimerizadores utilizados pelos estudantes da Faculdade de Odontologia da Universidade de Nova York. Foram avaliadas 201 lâmpadas de fotopolimerização. A aferição da intensidade de luz foi realizada através do radiômetro Cure Rite (Efes), o qual mede a intensidade entre 400 e 520 nm. Os aparelhos foram divididos em três grupos segundo o tempo de trabalho: G1 - um ano (estudantes de segundo ano, 20 horas de trabalho), G2 - dois anos (estudantes de terceiro ano, 60 horas de trabalho), G3 - três anos (estudantes do último ano, 120 horas de trabalho). Cada aparelho foi três vezes avaliado para obter uma média e assegurar a aferição. Segundo os resultados, a intensidade de luz média para G1 e G2 foi de 423 mW/cm^2 e para G3 de 376 mW/cm^2 . Os testes estatísticos indicaram um efeito significativo do tempo de trabalho na intensidade de luz sendo que os aparelhos com três anos de trabalho diferiram significativamente dos aparelhos com um e dois anos de trabalho. Baseados nestes dados, os autores concluíram que o rendimento da intensidade da lâmpada dos aparelhos diminui com o tempo de trabalho.

Price; Murphy e Dérand (2000) determinaram a quantidade de luz transmitida através de várias espessuras de resina composta e dentina. As resinas compostas testadas foram: Z100 (3M Dental) cor A1, Prodigy (Kerr) cor A1, Prodigy

Condensável (Kerr) cor A1, Sure Fill (Dentsply/Caulk) cor A1, Alert (Jeneric/Pentron) cor A2, Filtek P60 (3M Dental) cor A3, Pertac II (ESPE) cor A1. As espessuras dos corpos-de-prova foram 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm e 5 mm. O aparelho utilizado foi Optilux 500 (Demetron Res. Corp.) em combinação com uma ponta ativa convencional e uma guia concentradora de luz. O tempo de exposição foi padronizado em 40 segundos. A intensidade de luz com a ponta ativa convencional foi de 628 mW/cm^2 e com a guia concentradora de luz foi de 1014.4 mW/cm^2 . Quando a ponta ativa concentradora foi utilizada, houve um aumento significativo de $42\% \pm 6\%$ na quantidade de luz recebida e transmitida através das resinas compostas e a dentina. Houve uma diminuição da luz transmitida quando as espessuras da resina e a dentina aumentaram.

Santos et al. (2000) realizaram testes de microdureza Knoop com o intuito de avaliar a eficácia de dois aparelhos fotopolimerizadores do tipo pistola (de alta intensidade de luz) comparados ao aparelho de cabo flexível (de baixa intensidade de luz). Realizaram a análise em dois tempos diferentes (20 e 40 segundos) e profundidades de 1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm. A resina composta selecionada foi Z100 (3M). Os aparelhos utilizados foram Optilight II (Gnatus), XL 1500 (3M) e Fibrilux (Dabi Atlante). Os resultados evidenciaram uma relação direta entre intensidade de luz e profundidade de polimerização, sendo que os aparelhos do tipo pistola (Optilight II e XL 1500) promoveram maior microdureza na resina composta do que o aparelho com cabo flexível (Fibrilux). Para o tempo de 40 segundos de polimerização a microdureza obtida foi maior do que com 20 segundos para os três aparelhos. Para as profundidades de 1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm os valores de microdureza mostraram diferenças estatisticamente significantes entre si, onde as menores profundidades apresentaram maiores valores de microdureza.

Andrade et al. (2001) avaliaram a capacidade de polimerização de um dispositivo à base de LEDs à bateria, em função da profundidade do material (topo e base) e do tempo em que o aparelho permaneceu fora do recarregador de energia. A avaliação realizou-se através do teste de microdureza Vickers. O aparelho testado foi ULTRA BLUE III (DMC-LTDA) que apresentou intensidade de luz de 190 mW/cm² e emissão de luz em torno de 470 nm com variação de 20 nm aproximadamente. A resina composta utilizada foi Herculite XRV (Kerr) Enamel cor A4. O tempo de irradiação foi de 40 segundos. Foram confeccionados 5 corpos-de-prova para cada grupo: G1-bateria totalmente carregada, G2-bateria 5 minutos fora do carregador, G3-bateria 10 minutos fora do recarregador, G4-bateria 15 minutos fora do carregador. As superfícies de topo e de base foram polidas antes dos valores de microdureza serem obtidos. Utilizou-se carga de 50 gf por um período de 30 segundos. Os resultados mostraram que os valores de microdureza diminuíram à medida que se aumentou o tempo em que o aparelho permanecia fora do carregador. Os autores concluíram que todos os grupos analisados promoveram adequada polimerização para ambas as superfícies.

Frentzen; Foll e Braun (2001) compararam a profundidade de polimerização obtida por um aparelho à base de LEDs e um aparelho convencional de luz halógena em função da cor da resina composta e do tempo de exposição à luz. Corpos-de-prova foram confeccionados com 4 mm de diâmetro e 6 mm de espessura com resina composta Arabesk (Voco) nas cores A1, A2, A3, A3,5, B2, B3. Os aparelhos testados foram: aparelho de luz halógena Translux CL (Heraeus Kulzer) e aparelho à base de LEDs (Oshino Lamps). Os tempos de exposição à luz foram de 1 e 3 minutos. Os resultados mostraram que quando a resina composta foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs a profundidade de polimerização foi

maior se comparada com a profundidade de polimerização alcançada com o aparelho de luz halógena, independentemente da cor.

Knězević et al. (2001) compararam o grau de conversão e o aumento de temperatura de quatro resinas compostas híbridas para zero e um milímetro de profundidade de polimerização. As resinas compostas testadas foram Tetric Ceram (Ivoclar Vivadent), Pertac (ESPE), Valux Plus (3M Dental) e Degufill Mineral (Degussa). Para todas as resinas selecionou-se a cor A2. Os aparelhos de luz halógena utilizados foram Heliolux GTE/Vivadent (600 mW/cm^2), Elipar HighLight/ESPE (100 mW/cm^2 durante 10 segundos e 700 mW/cm^2 durante 30 segundos). Paralelamente foi avaliado um aparelho experimental que apresentou um arranjo de 16 LEDs (Metex) com intensidade de luz de 12 mW/cm^2 para cada LED. Os resultados revelaram que o grau de conversão foi maior para todas as resinas compostas polimerizadas com os aparelhos de luz halógena e no caso do aumento da temperatura, o aparelho de luz halógena atingiu o dobro de temperatura que o aparelho à base de LEDs, sugerindo que a temperatura transmitida e consequência da intensidade de luz emitida pelo aparelho e da reação química durante o processo de presa do material.

Em um artigo publicado por Hirata; Ampessan e Liu (2001) fizeram um resumo relacionado ao fenômeno físico cor, descrevendo as três dimensões desta (matiz, croma e valor). O matiz está relacionado com a família de uma cor que em odontologia se divide em A, B, C e D segundo a escala universal VITA. O croma é definido como a saturação de um determinado matiz ou a quantidade de pigmento que foi incorporado a este matiz. O valor ou brilho é conceituado como a quantidade de preto ou branco em um objeto, ou seja, a escala dos vários tons de cinza e define a vitalidade de um corpo provocando sensações de profundidade e aproximação. Os

autores relataram também as diferenças entre resinas compostas de micropartículas e microhíbridas em tamanho, disposição, peso e volume das partículas. Também foram relatadas as diferenças de resistência e características ópticas como translucidez e opacidade. Enfatizaram que as resinas de micropartículas se comportam como corpos translúcidos se não tiverem na sua composição pigmentos brancos que funcionam como barreira para a luz. Já as resinas microhíbridas podem comportar-se como corpos parcialmente translúcidos ou opacos dependendo da irregularidade da superfície das partículas.

Pereira; Porto e Mendes (2001) avaliaram a influência de diferentes condições de polimerização sobre a microdureza Vickers de uma resina composta híbrida. As condições estudadas foram: 3 sistemas fotopolimerizadores associados a diferentes tempos de exposição, duas cores da resina composta Charisma (Heraeus Kulzer) cor A1 e C4 e 4 profundidades do material (1 mm, 2 mm, 3 mm e 4 mm). Os corpos-de-prova apresentaram 7 mm de profundidade, 4 mm de comprimento e 3 mm de largura. Três aparelhos fotopolimerizadores foram utilizados, resultando em 7 condições diferentes para cada cor. As condições testadas foram: C1- aparelho CU-100R/DMC-LTDA (700 mW/cm^2 – contínuo, 40 segundos), C2- aparelho CU-100R/DMC-LTDA (700 mW/cm^2 – contínuo, 60 segundos), C3- KM-200R/DMC-LTDA (escalonado, 450 mW/cm^2 por 5 segundos e 35 segundos a 600 mW/cm^2), C4- KM-200R/DMC-LTDA (escalonado, 450 mW/cm^2 por 5 segundos e 55 segundos a 600 mW/cm^2), C5- Kuring Light/Kreativ Inc. (800 mW/cm^2 , Normal, 10 segundos), C6- Kuring Light/Kreativ Inc. (920 mW/cm^2 , Boost, 10 segundos), C7- Kuring Light/Kreativ Inc. (0 a 700 mW/cm^2 , Ramp, 10 segundos). Os tempos para as condições C4, C5 e C6 foram de 10 segundos de exposição à luz. Após o período de armazenamento de 24 horas à temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$ foram realizadas três

impressões em cada milímetro da superfície da resina composta. Os maiores valores de microdureza Vickers foram proporcionados pelos aparelhos CU-100R e KM-200R quando utilizados por 60 segundos. A cor C4 apresentou maior média de microdureza do que a cor A1. O 1° e 2° mm apresentaram maiores valores de microdureza do que o 3° e 4° mm. O tempo de exposição de 10 segundos, mesmo associado à alta intensidade de luz, não atingiu uma adequada polimerização da resina composta.

Quance et al. (2001) realizaram uma pesquisa com o propósito de avaliar o efeito da intensidade de luz (200 e 500 mW/cm²) e da temperatura de armazenamento (18° e 37°C) na microdureza de 2 mm de espessura de diferentes resinas compostas, sendo elas: Prodigy (Kerr) esmalte e dentina, Z100/3M e Silux Plus/3M, TPH (Dentsply), Pertac-Hybrid (ESPE), Charisma(Kulzer). Os espécimes de 4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura foram fotopolimerizados por 40 segundos por um aparelho de luz halógena Prismetics Mk II (Dentsply). Os maiores valores de microdureza foram obtidos na superfície de topo quando polimerizada com 500 mW/cm² e armazenado a 37°C, independentemente do material utilizado. Os valores de microdureza da superfície de base foram sempre menores que os da superfície de topo. Os autores concluíram que a composição da resina composta teve uma influência significativa sobre a microdureza já que, só a resina composta TPH (Dentsply) atingiu porcentagens de polimerização maiores que 80% para todas as condições testadas, quando polimerizada com intensidade de luz de 500 mW/cm². Intensidade de luz de 200 mW/cm² associado a 40 segundos não produziu valores aceitáveis de microdureza na superfície de base, para incrementos de 2 mm, na maioria dos produtos testados.

Com a crescente aparição de fontes de luz e o recente lançamento da fonte de luz à base de LEDs, Swiftt (2001) resumiu detalhadamente as características principais destas fontes. O autor afirmou que estes aparelhos emitem luz azul com um estreito comprimento de onda o qual corresponde com o pico de absorção da CQ ($470 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$). É possível fabricar aparelhos de tamanho reduzido, portáteis e com maior tempo de vida ao não apresentar lâmpada e outros componentes que podem degradar-se. Porém, o autor preveniu possíveis limitações desta fonte como: a possibilidade de geração de calor durante o processo de polimerização pelo efeito fototérmico quando os fótons interagem com o substrato irradiado, além da incompatibilidade com algumas resinas compostas que absorvem luz com intervalos entre 400 e 450 nm, por apresentar um estreito comprimento de onda da luz emitida.

Com a proposta de investigar a influência da densidade de energia (intensidade X tempo) na efetividade de polimerização de resinas compostas, Yap e Seneviratne (2001) testaram diferentes intensidades (200, 300, 400, 500 e 600 mW/cm^2) e tempos (10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 180 segundos). Utilizaram o teste de microdureza Knoop nas superfícies de topo e de base em corpos-de-prova de 2 mm de espessura. A resina composta utilizada foi Z100 (3M Dental) cor A2 e o aparelho fotopolimerizador foi VIP (Bisco). A intensidade de 400 mW/cm^2 e o tempo de 40 segundos foram utilizados como controle. Os autores julgaram como adequada polimerização quando o valor obtido foi estatisticamente comparável com o controle. Ótima polimerização foi considerada quando a microdureza superficial foi igual ou maior ao controle (topo ≥ 73 e base ≥ 57). A polimerização foi considerada efetiva quando a microdureza do topo e base foi ótima e a relação base/topo foi $\geq 0,78$. Os resultados mostraram adequada microdureza com 20 segundos de

irradiação em combinação com intensidades de 200 e 300 mW/cm² para a superfície de topo. A superfície de base obteve ótima polimerização com intensidade de 300 mW/cm² aos 120 segundos de irradiação. Intensidades de luz de 500 e 600 mW/cm² proporcionaram ótima polimerização na superfície de base aos 30 e 20 segundos, respectivamente. Os autores concluíram que uma polimerização efetiva não foi conseguida com intensidades de luz baixas (200 e 300 mW/cm²). Intensidades de luz alta (500 e 600 mW/cm²), promoveram polimerização efetiva a partir de 30 segundos de irradiação.

Arikawa et al. (2002) avaliaram os efeitos da atenuação da luz pelo esmalte ao polimerizar três resinas compostas de cores diversas através de filtros. As resinas compostas utilizadas foram Silux Plus/3M (Universal, Gray, Dark Grey, Yellow, Yellow Brown), Durafill/Heraeus Kulzer (Universal, Gray, Brown) e Lite-Fil II A (A3, A3.5, B3, C3). Foram utilizados três filtros que simularam as características de transmitância de espessuras de esmalte de 0,5 mm, 1 mm e 1,5 mm. Depois de polimerizar os corpos-de-prova durante 40 segundos estes foram armazenados secos durante 24 horas. A seguir foram registrados os valores de microdureza superficial Knoop e o módulo de elasticidade. Os resultados indicaram que a atenuação dos filtros que reproduziram esmalte de espessuras de 0,5 mm, 1 mm e 1,5 mm foram de 45%, 67% e 81%. Para todos os materiais e cores a microdureza superficial e o módulo de elasticidade foram menores quando irradiados com todos os filtros. Cores escuras de cada material (Dark Gray, Yellow Brown, A3.5 e C3) demonstraram maiores mudanças no módulo de elasticidade e menor transmitância que as cores claras.

Carreira e Vieira (2002) visaram estudar a influência da profundidade de polimerização e o grau de manchamento por café em uma resina composta. Para

tanto, confeccionaram 10 corpos-de-prova com a resina composta Definite (Degussa) cor 3,5, com medidas de 8 mm de diâmetro e 6,3 mm de espessura. A ativação da resina composta foi realizada durante 40 segundos com o aparelho Degulux “Soft Start” (Degussa). Para avaliar a profundidade de polimerização utilizou-se o teste de raspagem. Com um espessímetro foi medida a profundidade de polimerização de cada corpo-de-prova para logo serem imersos em água e armazenados à temperatura ambiente e ao abrigo da luz por 1 hora. A seguir, foram imersos em solução de café por 7 dias à temperatura ambiente. Paralelamente foi confeccionado um corpo-de-prova que foi imerso em água por 7 dias à temperatura ambiente, considerado como controle. As medições foram realizadas por dois observadores os quais atribuíram escores (1 a 5) às alterações de cor segundo os terços de cada corpo (próximo à luz, meio e distante da luz). Foram obtidas médias da evolução do manchamento segundo o tempo e os terços. Os resultados indicaram que foi atingida a profundidade de polimerização na média de 6,19 mm (98,25%), o terço mais distante da fonte de luz atingiu um maior grau de manchamento quando comparado ao terço próximo à fonte de luz. O grau de manchamento aumentou conforme aumentou o tempo, independentemente do terço observado.

Careira e Macedo (2002) avaliaram a variação de temperatura produzida por um aparelho à base de LEDs comparado com um aparelho de luz halógena. O aparelho de luz halógena testado foi Ultralux (Dabi Atlante - 300 mW/cm²) e o à base de LEDs (DMC-LTDA - 150 mW/cm²). A variação de temperatura foi mensurada diretamente na extremidade da ponta fotopolimerizadora através de um controlador de temperatura COEL HW 1450. A temperatura foi mensurada interpondo-se um corpo-de-prova de 8 mm de diâmetro e 2 mm de espessura entre a ponta ativa e o controlador de temperatura. Os corpos-de-prova

foram confeccionados com resina composta Definite (Degussa) cor 3,5. A média de variação de temperatura obtida para o aparelho à base de LEDs sem interposição do corpo-de-prova foi de 0,21°C e com a interposição 0,15°C. Para o aparelho de luz halógena foi 1,56°C sem interposição e 0,56°C com interposição do corpo-de-prova. Com base nos resultados os autores concluíram que o aparelho à base de LEDs produziu pouca variação de temperatura em comparação com o aparelho de luz halógena. A interposição de 2 mm de espessura de resina composta diminuiu a variação de temperatura em até 64% e a variação de temperatura para os aparelhos testados não atingiu temperaturas críticas para a polpa dental.

Outra pesquisa desenvolvida por Consanni et al. (2002) permitiu verificar o efeito do tipo de inserção da resina composta (duas camadas ou incremento único) e três métodos de fotoativação (luz contínua, duplo pulso e pulsátil), sobre a microdureza Knoop das resinas compostas Z100 (3M-ESPE) e Alert (Jeneric/Pentron). Os corpos-de-prova foram confeccionados com 4 mm de diâmetro e 4 mm de espessura e seccionados longitudinalmente na parte central. Quando a resina composta foi inserida em um único incremento o material foi comprimido com carga estática de 1 kgf, exercido sobre uma lâmina de vidro interposta por uma tira de poliéster. O mesmo procedimento foi executado para a segunda camada da técnica incremental. Os aparelhos utilizados para fotoativação das resinas compostas foram: XL 3000/3M-ESPE (luz contínua de 520 mW/cm² por 40 segundos), XL 3000/3M-ESPE (duplo pulso com 150 mW/cm² por 10 segundos e 520 mW/cm² por 30 segundos), Optilux 400/Demetron Res. Corp. (pulsátil com 520 mW/cm², 2 segundos ligado e 1 segundo desligado até completar 60 segundos). Os corpos-de-prova foram armazenados em estufa a 37°C e 100% de umidade relativa, por 24 horas. Foram confeccionados 5 corpos-de-prova para cada grupo, de acordo

com o método de fotoativação e tipo de inserção. Cada corpo-de-prova foi fixado verticalmente em posição lateral numa placa de vidro. A resina composta foi desgastada sob irrigação constante com lixas d'água de granulações decrescentes (1000, 600, 500, 400, 320, 200) finalizando com feltro e pasta diamantada (0,5 µm). Nas superfícies polidas realizaram-se testes de microdureza Knoop a 0mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm de espessura. As medidas de microdureza foram efetuadas com um microdurômetro sob carga de 50 g por 30 segundos. Os resultados indicaram que a resina composta Z100 obteve os maiores valores de microdureza quando comparados com a resina composta Alert, independentemente do tipo de inserção, método de fotoativação e profundidade. Os maiores valores de microdureza foram obtidos com a inserção incremental quando se comparou à inserção única. Referente ao método de fotoativação, a maior média foi obtida pela luz contínua, seguida pelo duplo pulso e luz pulsátil. A microdureza na região de incidência da luz foi superior e diferente das outras regiões (0 mm > 1,5 mm > 2,5 mm > 4 mm) as quais diferiram estatisticamente entre si. Com base nestes resultados os autores concluíram que a resina composta Z100 e a inserção incremental apresentaram os maiores valores de microdureza. Não encontraram diferenças entre os métodos de fotoativação para a resina composta Z100. Já para a resina composta Alert a ativação contínua proporcionou as maiores médias de microdureza.

Dunn e Bush (2002) compararam a microdureza de uma resina composta híbrida (Filtek Z250/3M-ESPE) e outra de micropartículas (Renamel/Cosmedent), polimerizadas com dois aparelhos de luz halógena (Optilux 400 e 501, Demetron Res. Corp.) e dois aparelhos à base de LEDs (LumaCure/Luma Lite e VersaLux/Centrix). A cor selecionada foi A1. Foram confeccionados 5 corpos-

de-prova para cada grupo avaliado. Estes corpos-de-prova foram preparados em uma matriz que foi colocada sobre uma tira de poliéster transparente a qual esteve sobre uma placa de vidro plana. A resina foi inserida em um incremento único. A seguir cobriu-se com outra tira de poliéster transparente apoiada por uma placa de vidro para assegurar que a amostra ficasse plana. O tempo de polimerização foi de 40 segundos. Os corpos-de-prova foram testados quanto à sua microdureza nas superfícies de topo e de base, depois de um período de armazenamento de 24 horas em um recipiente à prova de luz. Em cada superfície realizaram-se três impressões, obtendo-se uma média para cada superfície. Para determinar a porcentagem da profundidade de polimerização, dividiu-se o valor de microdureza da superfície de base pelo valor de microdureza da superfície de topo, multiplicando o resultado por 100. Os autores concluíram que houve diferença estatística significativa quando se comparou a resina composta de micropartículas com a híbrida, não importando o tipo de luz utilizado. A resina composta de micropartículas (Renamel) polimerizou adequadamente após 40 segundos de exposição à luz só com o aparelho Optilux 501 (Demetron Res. Corp.) seguindo o critério que a superfície de base apresenta o mínimo de 80% da microdureza da superfície de topo. Quando se avaliou o efeito do tipo de luz, independentemente da resina utilizada, o aparelho de luz halógena produziu superfícies de topo e base com maior microdureza do que o aparelho à base de LEDs.

Com a finalidade de avaliar os parâmetros indicados pela ISO, Fan et al. (2002) avaliaram a profundidade de polimerização de cinco marcas comerciais de resinas compostas irradiadas por 300 mW/cm^2 de intensidade de luz em um intervalo de comprimento de onda entre 415 e 515 nm. O teste utilizado para esta pesquisa foi o teste de raspagem. O padrão ISO 2000 exige que as resinas

compostas apresentem uma profundidade mínima de polimerização de 1,5 mm quando irradiadas pelo tempo recomendado pelo fabricante e define profundidade de polimerização como 50% do comprimento da amostra de resina composta polimerizada após a porção não polimerizada ter sido retirada por raspagem ou escavação manual. Os materiais foram designados como A, B, C, D, E. Os matizes de cada resina testada foram: A (A2, A4, B1, D3), B (A1, A2, A3,5, A4, B3, D3), C (DDYO, clara, amarela), D (A2, A4, B1, D3), E (A2, A4, B1, D3). O aparelho utilizado foi Optilux 400 (Demetron Res. Corp.) o qual foi ajustado para emitir intensidade de luz de 300 mW/cm². O critério adotado foi da ISO aprovado/reprovado para determinar se o material esteve de acordo com o padrão. Quando o valor médio não satisfazia as normas ISO, prepararam-se amostras adicionais as quais foram irradiadas pelo dobro de tempo recomendado. Os resultados mostraram que para todos os matizes das resinas compostas A, C e E as profundidades de polimerização satisfizeram as normas ISO de 1,5 mm. As cores A2 e D3 da resina composta D satisfizeram o padrão ISO. Nenhuma das cores da resina composta B satisfez o padrão ISO de profundidade de polimerização. Depois de dobrar o tempo de exposição apenas duas cores da resina composta B não satisfizeram a norma do padrão ISO (A3,5 e B3). Os autores concluíram que a luz proveniente de uma fonte de luz halógena com intensidade de 300 mW/cm² polimerizou com eficácia a maioria das cores das resinas compostas avaliadas no tempo indicado pelo fabricante, mas algumas exigiram um tempo maior.

Leonard et al. (2002) avaliaram a qualidade de polimerização de três aparelhos à base de LEDs e um aparelho de luz halógena, através de teste de microdureza Knoop. Também foi comparada a densidade de potência (intensidade de luz) e o espectro de emissão destes aparelhos. Utilizaram resina composta de

micropartículas Silux Plus (3M-ESPE) e resina composta híbrida Z100 (3M-ESPE). Os aparelhos testados foram: ZAP Dual CuringTM LIGHT (CMS-Dental, LED e halógena), Luma CureTM (Luma Lite, LED), VersaLuxTM (Centrix, LED), Optilux 401TM (Demetron Res. Corp.). Em relação à densidade de potência, cada aparelho foi mensurado em um espectro de emissão de 380 a 520 nm e após, em um espectro de emissão de 450 a 500 nm. Esta avaliação do espectro dos aparelhos revelou que o espectro de emissão dos aparelhos à base de LEDs é mais estreito do que o espectro de emissão dos aparelhos de luz halógena. As médias dos valores de microdureza foram calculadas nas superfícies de topo e de base de cada corpo-de-prova. Os valores encontrados na superfície de base foram divididos pelos valores da superfície de topo e multiplicados por 100 para obter a porcentagem de profundidade de polimerização. Considerou-se que a resina composta polimerizou adequadamente quando o valor da porcentagem de polimerização excedeu a 80%. Através de testes de regressão linear, os autores predisseram o tempo de exposição requerido para estabelecer porcentagens de polimerização de 80%. Os resultados mostraram que todos os aparelhos à base de LEDs exigiram maior tempo de exposição do que o aparelho de luz halógena. Quando se polimerizou com aparelhos à base de LEDs, tempos aceitáveis clinicamente (39-61 segundos) foram encontrados para resina a composta híbrida mais não para resinas compostas de micropartículas (83-131 segundos).

Com o objetivo de avaliar a influência da intensidade de luz e cor na microdureza Knoop da resina composta Fill Magic (Vigodent), Martins et al. (2002) confeccionaram corpos-de-prova de 6 mm de diâmetro e 2 mm de espessura para as cores A3, B3, C3, D3 e I. O aparelho utilizado foi Elipar Trilight (3M-ESPE), o qual foi calibrado para emitir 3 intensidades diferentes: 450 mW/cm², 800 mW/cm² e

intensidade de luz gradativa de 100 mW/cm² a 800 mW/cm² durante 40 segundos. Os autores mostraram através do teste de microdureza Knoop que a intensidade de luz influenciou nos valores de microdureza. A intensidade de luz progressiva proporcionou em média o maior grau de microdureza Knoop e a intensidade de 450 mW/cm² proporcionou a menor média de microdureza. A cor da resina composta não influenciou na microdureza superficial quando se utilizou a técnica gradativa, com no máximo 2 mm de espessura por incremento de resina composta.

Mills; Uhl e Jandt (2002) avaliaram a profundidade de polimerização da resina composta Spectrum TPH (Dentsply) quando polimerizada por três aparelhos de fotopolimerização, dois à base de LEDs e um de luz halógena. Os aparelhos testados foram o LEDs LuxOMax (Akeda Dental) o qual apresentava 7 LEDs, LEDs experimental (Nichia Chemical Industrias) com 63 LEDs e o aparelho de luz halógena Coltolux 4 (Coltène/Whaledent). Foram avaliadas as cores A2 e A4 da resina composta a qual apresentava a CQ como fotoiniciador. Dez corpos-de-prova foram utilizados para cada combinação de cor e aparelho. Avaliou-se a profundidade de polimerização através de um penetrômetro. Os autores concluíram que para as duas cores da resina composta o aparelho LuxOMax proporcionou os menores valores de profundidade de polimerização. O aparelho experimental com 63 LEDs e o aparelho de luz halógena não produziram diferenças estatísticas significantes para a cor A2, não ocorrendo o mesmo para a cor A4. O aparelho LuxOMax alcançou apenas uma polimerização adequada para incrementos de 2mm para a cor A2. Para a cor escura A4 a polimerização destes 2 mm não foi alcançada.

Considerando que a polimerização das resinas compostas é influenciada pela qualidade de luz dos aparelhos fotopolimerizadores e que os aparelhos de luz halógena apresentam componentes que se degeneram e causam

uma diminuição da intensidade de luz que pode resultar em um baixo grau de conversão, Mills et al. (2002) desenvolveram uma pesquisa para comparar a dureza Barcol e as forças de compressão em função da profundidade, tempo e cor de uma resina composta quando polimerizada com dois aparelhos experimentais à base de LEDs (LED1-27 LEDs e LED2-54 LEDs), um aparelho à base de LEDs comercial (Lux O Max/Akeda Dental-7 LEDs) e um aparelho de luz halógena (Spectrum 201/Dentsply De Trey). A resina composta utilizada foi Spectrum TPH (Dentsply De Trey) cores A2 e A4 polimerizadas por 20 ou 40 segundos. Paralelamente foram determinadas as propriedades dos aparelhos. Segundo os resultados obtidos pôde-se verificar que os dois aparelhos experimentais e o aparelho de luz halógena apresentaram intensidades de luz acima de 500 mW/cm^2 e o aparelho à base de LEDs comercial apresentou 122 mW/cm^2 , o que justifica os resultados obtidos. Os dois aparelhos experimentais e o aparelho de luz halógena tiveram similar desempenho ao contrário do aparelho com tecnologia LED comercial. Este padrão foi similar para forças de compressão.

Com o objetivo de avaliar a capacidade de polimerização, através da estrutura dental, de 3 diferentes fontes de luz (halógena, laser de Argônio e LEDs), por meio de testes de microdureza, Rastelli (2002) confeccionou corpos-de-prova com resina composta microhíbrida Charisma (Heraeus Kulzer) cor A2. Foram avaliados o aparelho de luz halógena KM-200R (DMC-LTDA) utilizado pelo tempo de exposição de 20 e 40 segundos, o aparelho de laser de argônio Innova 100 (Coherent) utilizado pelos tempos de exposição de 30 e 40 segundos e o aparelho à base de LEDs LEC 4701 (MM Optics) utilizado pelo tempo de exposição de 20, 40 e 60 segundos. Espessuras de 0 mm (grupo controle), 1,2 mm, 1,5 mm e 2 mm de faceta de estrutura dental foram interpostas no momento da fotopolimerização.

Baseados nos resultados a autora concluiu que quanto maiores os tempos de exposição maiores foram os valores de microdureza, independentemente da fonte de luz utilizada. À medida que aumentou a espessura da faceta de estrutura dental, houve um decréscimo para os valores de microdureza. A superfície de topo apresentou maiores valores de microdureza quando comparada à superfície de base. O aparelho de laser de Argônio utilizado por 40 segundos promoveu adequada polimerização na superfície de topo, independente da espessura da faceta de dentina e somente no grupo onde não houve interposição dentária é que promoveu adequada polimerização na superfície de base. A fonte à base de LEDs promoveu adequada polimerização para a superfície de base somente no grupo controle (sem interposição dentária) associado à exposição de 60 segundos.

Silva; Araújo e Francisconi (2002) visaram comparar duas técnicas de fotoativação para verificar a influência na microdureza Vickers e na formação de fendas marginais. A resina composta utilizada foi Z100 (3M-ESPE) e Solitaire (Heraeus Kulzer). Os grupos formados com as diferentes técnicas de fotoativação foram: G1-650 mW/cm² por 60 segundos, G2-380 mW/cm² por 20 segundos seguida de 650 mW/cm² por 40 segundos, G3-280 mW/cm² por 20 segundos seguida de 650 mW/cm² por 40 segundos, G4-180 mW/cm² por 20 segundos seguida de 650 mW/cm² por 40 segundos. Para o teste de microdureza Vickers confeccionaram-se corpos-de-prova de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. Os resultados mostraram que as fendas marginais foram menores com a ativação seqüencial com a intensidade inicial de luz de 180 mW/cm² seguida da ativação contínua (650 mW/cm²). Para todas as técnicas de fotoativação, a resina composta Z100 apresentou as menores fendas marginais o que coincidiu com os maiores valores de

microdureza, tanto no topo quanto na base. Independentemente da resina composta utilizada, os valores de microdureza foram menores na base.

Pereira; Pascotto e Carneiro (2003) testaram as condições apresentadas por aparelhos de luz utilizados em consultórios odontológicos da cidade de Maringá (Paraná). Além disso, analisaram o nível de conhecimento dos cirurgiões-dentistas quanto à manutenção dos aparelhos de fotopolimerização e à correta execução da técnica de fotopolimerização. Foram entregues questionários para 100 profissionais com questões objetivas a respeito dos seus aparelhos. As questões foram divididas segundo: condições dos aparelhos fotopolimerizadores, métodos de limpeza e manutenção, frequência de limpeza e manutenção, nível de conhecimento, atualização com o tema e a técnica de polimerização mais utilizada. A aferição dos aparelhos de fotopolimerização foi realizada com o radiômetro digital Cure Rite (EFOS) durante a entrevista. Os autores concluíram que a intensidade de luz emitida pelos aparelhos avaliados variou entre 30 mW/cm² e 800 mW/cm², sendo que 16% dos aparelhos testados não satisfizeram a intensidade de luz mínima indicada para uma adequada polimerização. Os resultados indicaram que 90% dos entrevistados utilizavam o tempo de exposição à luz de 40 segundos e 72% empregavam a técnica incremental oblíqua.

Ribeiro et al. (2003) avaliaram a influência de quatro aparelhos de fotoativação sobre a microdureza Vickers da resina composta FiltekTM Z250 (3M-ESPE) cor A2. Os aparelhos testados foram: um à base de luz halógena Optilux(Demetron Res. Corp.) e três à base de LEDs: Ultraled(Dabi Atlante), UltraLumeTM LED 2 (Ultradent) e Elipar[®] FreeLight2 (3M-ESPE). Este estudo demonstrou que os aparelhos UltraLumeTMLED 2 e Elipar[®]FreeLight 2

proporcionaram os melhores resultados independentemente da superfície analisada. O aparelho Ultraled (Dabi Atlante) promoveu os menores valores de microdureza.

Com o objetivo de comparar dois tipos de fonte de luz sobre a microdureza Vickers de uma resina composta extraclara Filtek™ Z250 (3M-ESPE) cor 0.5, Delgado et al. (2003), testaram um aparelho de luz halógena Curing Light 2500/3M-ESPE (GI), e dois aparelhos à base de LEDs: Elipar® FreeLight 2/3M-ESPE (GII) e UltraLume LED2 (GIII). Confeccionaram-se corpos-de-prova de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, registrando-se valores de microdureza na superfície de topo e na superfície de base. Os resultados mostraram que para a superfície de topo GI obteve maiores valores de microdureza superficial e para a superfície de base GI e GII. Houve diferenças estatísticas entre as superfícies de topo e de base para GI e GIII. Os autores concluíram que o aparelho de luz halógena e o aparelho Elipar® FreeLight 2 proporcionaram maiores valores de microdureza na superfície de topo e o aparelho Ultra Lume LED2 proporcionou os menores valores de microdureza.

Teshima et al. (2003) quantificaram a formação de radicais livres para comparar a eficiência de aparelhos à base de LEDs e de luz halógena através de espectroscopia “electron spin resonance” (ESR). Foi avaliada a formação de radicais primários durante o estágio inicial da polimerização e não a quantidade de propagação ou radicais estáveis em resinas compostas polimerizadas, já que a quantidade de radicais primários do estágio inicial pode afetar as características finais da resina composta. As amostras testadas foram feitas à base do fotoiniciador CQ, duas aminas terciárias *N,N*-dimethyl-*p*-toluidine (DMPT) e 2-(*N,N*-dimethylamino)ethyl metacrylate (DMAEMA) e um agente interceptor, phenyl-*tert*-butyl (PBN). As concentrações das duas aminas foram variadas e as concentrações

de CQ e PBN foram mantidas constantes. Como existe dificuldade para observar os radicais primários das aminas terciárias devido ao fato de que o tempo de vida destes é muito curto, foi utilizado o PBN como agente interceptor. A combinação de radicais aminas com o PBN gera PBN-adutores (PBN-amina radicais). Foram quantificados os PBN-adutores gerados pela combinação de dois sistemas fotoiniciador CQ/amina com o agente interceptor (CQ/DMPT/PBN e CQ/DMAEMA/PBN) quando irradiados por duas fontes à base de LEDs e uma fonte de luz halógena. Além deste teste calculou-se a dose de irradiação (J/cm^2), obtida da multiplicação do tempo de irradiação vezes a intensidade ou densidade de potência (mW/cm^2). Os autores determinaram o espectro de irradiação de três aparelhos de fotopolimerização utilizando um espectroradiômetro LI-1800. Os aparelhos testados foram Optilux 501 (Demetron Res. Corp.), XL3000 (3M) e o aparelho à base de LEDs LUX-O-MAX (Panasonic Dental) com 7 LEDs. Os autores concluíram que o sistema fotoiniciador CQ/DMPT gerou mais radicais do que o sistema fotoiniciador CQ/DMAEMA e que o tipo de fonte de luz não afetou a quantidade de radicais gerados.

Wang et al. (2003) descreveram os principais testes de laboratório para avaliar as propriedades dos materiais dentais tentando demonstrar sua aplicabilidade e relevância. Os autores sugeriram que para diferentes situações cada material poderia responder de diferentes formas, por isso que cada teste é desenhado para avaliar uma determinada propriedade. Os testes apresentados foram: teste de tração, teste de compressão, teste de compressão diametral, coeficiente de Poisson, resistência flexural, resistência à fadiga e teste de dureza superficial. Os autores definiram a dureza superficial como uma propriedade intrínseca que avalia a deformação plástica da superfície de um material. Este teste

é amplamente utilizado em odontologia o qual pode ser utilizado para avaliar o grau de mineralização de qualquer substrato dental. Outra importante aplicação deste teste é na avaliação do grau de polimerização de resinas composta e cimentos. Dentre os diversos métodos enquadrados nesta categoria (Brinell, Rockwell, Vickers e Knoop) o teste de microdureza Vickers e Knoop são os mais adequados para avaliar microdureza superficial e profundidade de polimerização destes materiais. Porém, o teste de microdureza Knoop é mais sensível ao polimento da superfície o que leva mais tempo e maiores custos quando comparado com outros métodos.

Uhl; Mills e Jandt (2003) realizaram uma pesquisa com a finalidade de comparar a eficiência de três aparelhos de fotopolimerização, um de luz halógena e dois à base de LEDs, mensurando a profundidade de polimerização e a microdureza Knoop. Os aparelhos à base de LEDs utilizados foram: Freelight/3M-ESPE (270 mW/cm^2) com 19 LEDs e um aparelho à base de LEDs experimental/LED63, Universidade de Bristol (638 mW/cm^2). O aparelho de luz halógena foi o Elipar Trilight/3M-ESPE (660 mW/cm^2), o qual foi acionado em duas modalidades: convencional (máxima intensidade durante toda a polimerização) e progressiva (baixa intensidade nos primeiros 20 segundos, máxima intensidade nos próximos 20 segundos). Os tempos de exposição testados foram 5, 10, 20 e 40 segundos. As resinas compostas utilizadas foram: Z100 (3M-ESPE), Spectrum TPH (Dentply DeTrey), Definite (Degussa AG), Solitaire2 (Haraeus Kulzer). As resinas compostas Definite e Solitaire 2 apresentavam co-iniciadores em adição à CQ. Os resultados da aferição dos espectros dos aparelhos e dos fotoiniciadores mostraram uma relação satisfatória dos espectros de emissão de todos os aparelhos com o espectro de absorção da CQ. No caso do co-iniciador Lucerina o espectro de absorção não coincidiu com os espectros dos aparelhos à base de LEDs. Para o

aparelho de luz halógena o espectro de emissão foi superposto ao da Lucerina entre 375 e 410 nm aproximadamente, sendo que o pico de absorção do co-iniciador Lucerina foi de aproximadamente 370 nm. A profundidade de polimerização obtida com o aparelho Trilight na modalidade convencional foi maior que a obtida com os aparelhos à base de LEDs para todos os materiais e tempos de polimerização. Quando avaliaram os resultados de profundidade de polimerização, atingidos pelo aparelho experimental à base de LEDs, os autores encontraram maiores valores quando comparados aos valores obtidos com o aparelho comercial FreeLight, independente do material e do tempo de polimerização. Não houve diferenças significantes quando foram comparados os valores médios de microdureza Knoop obtidos pelo aparelho Elipar Trilight e o aparelho experimental LED63 para a resina composta Z100 em todos os tempos, e para a resina composta Spectrum nos tempos de 20 e 40 segundos. As resinas compostas que apresentaram co-iniciadores (Definite e Solitaire 2) mostraram valores de microdureza menores na superfície de topo e de base quando fotopolimerizadas com aparelhos à base de LEDs, ao contrário do aparelho de luz halógena. Com base nos resultados, os autores concluíram que o teste de profundidade de polimerização não é um teste adequado como o teste de microdureza, para avaliar fotopolimerização de resinas compostas que contêm co-iniciadores além da CQ.

Com o objetivo de avaliar o desempenho de dois aparelhos à base de LEDs comparados com um aparelho de luz halógena, Bennet e Watts (2004) determinaram a distribuição espectral do comprimento de onda dos aparelhos e a influência da intensidade de luz e do tempo de exposição na profundidade de polimerização de três resinas compostas. Os aparelhos utilizados foram: um aparelho de luz halógena Optilux 501/Sybron-Kerr e dois aparelhos à base de LEDs

Elipar FreeLight/3M-ESPE (19 LEDs) e UltraLume 2/OptiDent (2LEDs). As resinas compostas testadas foram: Tetric Ceram cor A3, Tetric Ceram HB cor A3 e Tetric Bleach cor L. Os tempos de irradiação foram 10, 20 e 40 segundos. Os resultados revelaram que todos os aparelhos apresentaram um pico de emissão dentro da região azul do espectro de luz visível. A profundidade de polimerização variou significativamente com o tempo e com a intensidade para todos os aparelhos. Para as diferenças entre os aparelhos, os autores concluíram que os aparelhos à base de LEDs apresentaram espectro de emissão de luz mais eficiente quando comparados com o aparelho de luz halógena. Em termos de intensidade de luz, os valores baixos dos aparelhos à base de LEDs influenciaram no seu desempenho.

Pereira et al. (2004) compararam a capacidade de fotopolimerização do aparelho de luz halógena Ultralux/Dabi Atlante (538 mW/cm^2) e o aparelho à base de LEDs Ultraled/Dabi Atlante (180 mW/cm^2) através do teste de microdureza Vickers. Foram utilizadas a resina composta híbrida Charisma (Heraeus Kulzer) e a resina composta de alta densidade P60 (3M-ESPE) na cor A3. Os corpos-de-prova foram confeccionados através de uma matriz metálica com um orifício central de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. O teste de microdureza Vickers foi aplicado com carga de 50 gf durante 30 segundos. Depois de obtidos os valores de microdureza, foi calculada a porcentagem de polimerização. Os resultados evidenciaram que as duas resinas compostas testadas atingiram porcentagens de polimerização acima de 80%, independente do aparelho fotopolimerizador utilizado. O aparelho de luz halógena proporcionou maiores valores de microdureza do que o aparelho com sistema de LEDs e a resina Filtek P60 apresentou maiores médias de microdureza do que a resina composta Charisma.

Com o objetivo de avaliar o efeito de aparelhos à base de LEDs sobre a profundidade de polimerização da resina composta Filtek™ Z250 (3M-ESPE) nas cores A3, B1 e C4, Tsai; Meyers e Walsh (2004) utilizaram o teste de microdureza Vickers. Foram testados três aparelhos de fotopolimerização à base de LEDs: E-light (GC) Elipar FreeLight (3M-ESPE), 475H (RF Systems Lab) e dois aparelhos de luz halógena, um aparelho com intensidade convencional Sirona S1 (Sirona Dental) e outro de alta intensidade Optilux 501 (Kerr Demetron). Os autores encontraram um efeito estatístico significativo quando avaliados os aparelhos e a cor independentemente. Para a cor A3, a profundidade de polimerização foi similar com o aparelho de luz halógena convencional e os aparelhos à base de LEDs Elipar FreeLight e 475H. Menores profundidades foram obtidas com o aparelho à base de LEDs E-Light. Para as cores B1 e C4 os três aparelhos à base de LEDs proporcionaram menor profundidade de polimerização quando comparados com o aparelho de luz halógena convencional. Para a profundidade de 1 mm os dois aparelhos de luz halógena proporcionaram maiores valores de microdureza do que os aparelhos à base de LEDs. Dentre os três aparelhos à base de LEDs o aparelho Elipar FreeLight proporcionou os maiores valores de microdureza para profundidades de até 3 mm.

Uhl; Sigush e Jandt (2004) também avaliaram um aparelho à base de LEDs de segunda geração que apresentava maior intensidade de luz que os aparelhos à base de LEDs da primeira geração. Os autores propuseram a hipótese de que a resina composta não apresenta diferença estatística significativa na profundidade de polimerização e microdureza Knoop quando polimerizada com aparelhos de luz halógena e aparelhos à base de LEDs de segunda geração. Uma segunda proposta foi demonstrar que o teste de profundidade de polimerização não

discrimina da mesma forma que o teste de microdureza Knoop o desempenho das diferentes tecnologias de fotopolimerização quando as resinas compostas contêm co-iniciadores na composição. O aparelho utilizado foi de luz halógena Polofil (VOCO) com espectro de emissão entre 450 e 485 nm e densidade de potência ou intensidade de luz de 860 mW/cm^2 . Outro aparelho à base de LEDs utilizado foi um protótipo fabricado por FSU Jena o qual apresentava 1 LED, espectro de emissão de 458 nm e intensidade de luz de 901 mW/cm^2 . As resinas compostas utilizadas foram Z100 (3M-ESPE) cores A2 e A4, Revolcin Flow (Merz Dental) cores A2 e A3,5, Admira (VOCO) cores A2 e A3,5. As resinas compostas Z100 e Admira continham CQ como fotoiniciador. A resina composta Revolcin Flow continha, além da CQ, outros co-iniciadores os quais absorvem comprimentos de onda mais baixos, em torno de 410 nm. Para avaliar a microdureza superficial foram confeccionados corpos-de-prova com 4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. Os corpos-de-prova foram armazenados secos em recipientes escuros a 37°C durante 24 horas. Quando foram aferidos os espectros de emissão dos aparelhos observou-se que o aparelho de luz halógena apresentou um intervalo de emissão de energia mais amplo, de aproximadamente 370 a 520 nm. Para o aparelho à base de LEDs, os autores determinaram que o espectro de emissão foi mais reduzido, entre 420 e 510 nm. Os resultados, quanto à profundidade de polimerização, evidenciaram que o aparelho protótipo à base de um LED promoveu maiores profundidades de polimerização que o aparelho de luz halógena, para todas as resinas e cores. Já para os resultados de microdureza Knoop não apontaram o mesmo desempenho. A resina Revolcin Flow, quando polimerizada com o aparelho protótipo de um LED, apresentou menores valores de microdureza, provavelmente por conter na sua composição outros co-iniciadores além da CQ. Os autores ressaltaram que a

presença de co-iniciadores que absorvem baixos comprimentos de onda não afetaram os resultados de maneira significativa quando foi avaliada a profundidade de polimerização. Concluíram que o teste de profundidade de polimerização não foi adequado para avaliar o desempenho dos aparelhos à base de LEDs quando testaram resinas compostas que apresentavam co-iniciadores na sua composição.

3 PROPOSIÇÃO

A partir das informações contidas na revisão de literatura sobre os sistemas fotopolimerizadores, propõe-se:

- a) avaliar a microdureza superficial das resinas compostas extraclaras, fotopolimerizadas por luz halógena e LEDs, em função de:
 - quatro resinas compostas;
 - duas cores para cada resina composta;
 - dois sistemas de fotopolimerização: luz halógena e à base de LEDs;
 - duas superfícies: topo e base;
- b) descrever as características dos aparelhos fotopolimerizadores de luz halógena e à base de LEDs (espectro de emissão, potência e intensidade de luz);
- c) determinar a porcentagem de profundidade de polimerização.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 MATERIAL RESTAURADOR

Para o desenvolvimento dessa metodologia foram utilizadas quatro resinas compostas microhíbridas fotopolimerizáveis, como discriminado na Tabela 1. As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram as fotografias dos materiais utilizados. As cores avaliadas foram: A2 (controle) e uma cor extraclara, para cada marca de resina composta.

Tabela 1 - Características das resinas compostas

RESINA COMPOSTA	FABRICANTE	COR	TAMANHO MÉDIO DAS PARTÍCULAS
TETRIC [®] CERAM	Ivoclar Vivadent	A2 e XL	0,24-1 μm *
FILTEK [™] Z250	3M-ESPE	A2 e B0.5	0,01 – 3,5 μ * Média 0,6 μm
CHARISMA [®]	Heraeus Kulzer	A2 e SL	0,04 - 1 μm *
ESTHET X	Dentsply	A2 e XL	0,02 – 2,5 μm * Média 0,6 – 0,8 μm 10 –12 nm

Nota: *Especificações do fabricante

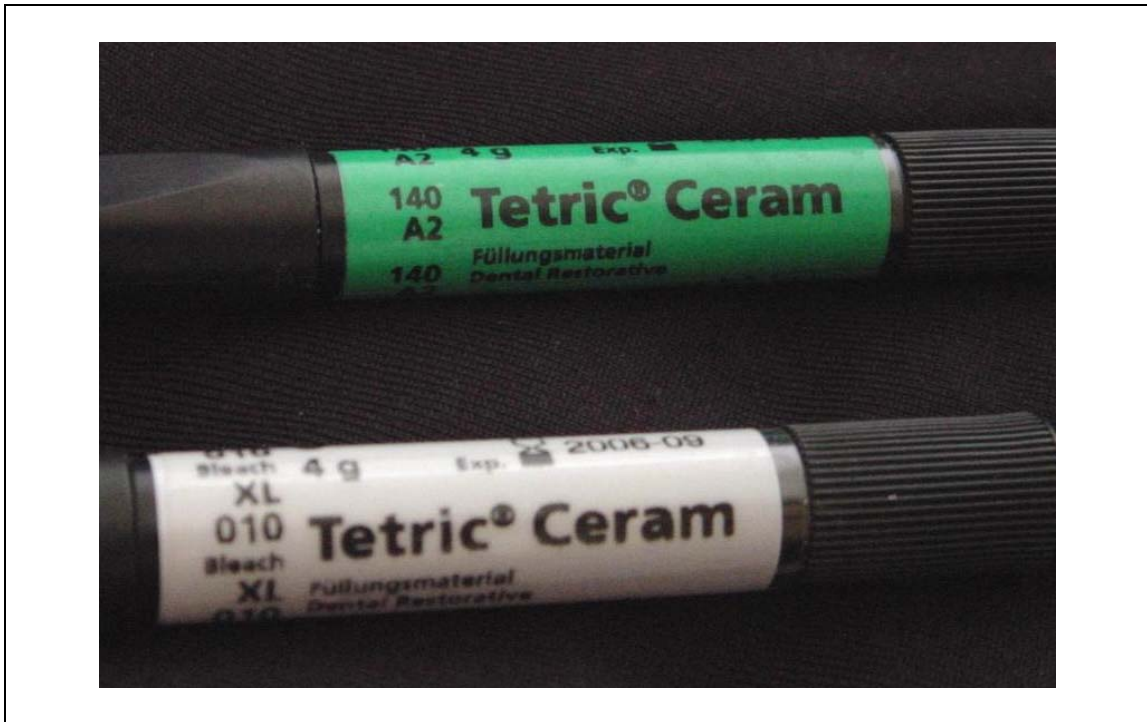


Figura 1 - Resina composta Tetric® Ceram (Ivoclar Vivadent)



Figura 2 -Resina composta Filtek™ Z 250 (3M-ESPE)



Figura 3 - Resina composta Charisma[®] (Heraeus Kulzer)



Figura 4 - Resina composta Esthet X (Dentsply)

4.2 APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES

Para a ativação das resinas compostas foram utilizadas como fonte de irradiação um aparelho de fotopolimerização por luz halógena e outro à base de LEDs como mostra a Tabela 2. As fotografias dos aparelhos utilizados são demonstradas nas Figuras 5 e 6.

Tabela 2 - Características dos aparelhos fotopolimerizadores testados

APARELHO	FONTE DE LUZ	FABRICANTE	INTENSIDADE DE LUZ (mW/cm ²) *	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)
Curing Light 2500 St. Paul, Ontario, Canadá	Halógena	3M-ESPE	600	400-500*
Elipar® FreeLight St. Paul, Ontario, Canadá	LEDs (19 LEDs)	3M-ESPE	400 aprox.	440-490*

Notas: Especificações do fabricante

4.2.1 Descrição dos aparelhos fotopolimerizadores

4.2.1.1 Aparelho de Luz Halógena: Curing Light 2500 (3M-ESPE)

O aparelho de luz halógena funciona quando uma corrente elétrica atravessa um fino filamento de tungstênio. O filamento funciona como uma resistência a que é aquecida pela corrente elétrica produzindo radiação eletromagnética na forma de luz visível. Quando um filamento é aquecido em 100 °C aproximadamente, libera calor e energia na forma de radiação infravermelha. Se a temperatura é aumentada entre 2000 °C e 3000 °C uma significativa radiação é emitida no espectro da luz visível. O aumento de temperatura gera um aumento de luz visível. Porém, com futuros aquecimentos continua a liberação de luz no intervalo

infravermelho. A produção exclusiva de luz azul com esta tecnologia não é possível, assim, porções não desejadas do espectro devem ser filtradas e o calor também deve ser dissipado com a incorporação de filtros de calor e ventiladores.

O aparelho Curing Light 2500 (3M-ESPE, 1997) é um aparelho fabricado para fotopolimerização de materiais dentais polimerizados por luz visível (Figura 5). O aparelho está conformado por uma base e uma peça de mão. A peça de mão contém uma ponta ativa. O aparelho apresenta as seguintes características:

- a) bulbo halógeno-tungstênio: 75 Watts, vida média de 4000 ciclos de 20 segundos;
- b) filtros ópticos de saída de luz em um intervalo de 400 a 500 nm;
- c) ponta ativa de fibra óptica com diâmetro de 7 mm.



Figura 5 - Aparelho de luz halógena Curing Light 2500 (3M-ESPE)

4.2.1.2 Aparelho à Base de LEDs: Elipar[®] FreeLight (3M-ESPE)

Em contraste com os aparelhos de luz halógena, os aparelhos à base LEDs (Light Emitting Diodes) produzem luz por efeitos mecânicos-quânticos. O diodo é um dispositivo eletrônico que serve para controlar o fluxo da corrente elétrica. São construídos com materiais semicondutores (silício, germânio, arseneto de gálio, etc.), cada material forma uma região que é denominada P (anodo) ou N (cátodo). O material semicondutor da região P é químico e termicamente processado para associar-se a uma outra sustância cujos átomos apresentam uma carência de elétrons na última camada eletrônica. O material semicondutor da região N apresenta um excesso de elétrons na última camada eletrônica. Quando unidos estes dois materiais se forma uma zona de transição entre eles "zona de depleção", que contém uma carga espacial. Esta carga espacial gera uma diferença de potencial entre a região P e a região N, de modo que a região P se torna negativa em relação à N. Esta diferença de potencial é chamada barreira potencial. No equilíbrio, como a região N é mais negativa do que a região P, os elétrons não podem passar a barreira de potencial do lado N para o lado P. Também não há passagem de elétrons do lado P para o lado N porque existem poucos elétrons na região P. Com isso, a corrente total é igual a zero. (SEMICONDUCTORES, 199-; O DIODO, 1984; 3M-ESPE, 2001).

Quando se aplica uma tensão externa, de modo que o lado P se torne mais positivo do que o N há uma redução da barreira potencial, que tende a nivelar as duas regiões. Com isso, os elétrons podem passar da região N para a P, resultando numa circulação de corrente.

Os LEDs são diodos especiais construídos por um material semicondutor que apresenta a propriedade de produzir uma radiação eletromagnética entre a luz visível e o infravermelho através da zona de depleção, o

que produz liberação de luz em um determinado comprimento de onda. Ou seja, a energia liberada neste processo é dissipada em forma de luz. (Figura 7). Esta luz é visível externamente, por isso, pode ser considerada como uma lâmpada de estado sólido. As vantagens deste tipo de diodo são variadas como apresentar baixo consumo de energia, nenhum aquecimento, alta resistência às vibrações e grande durabilidade. (SEMICONDUCTORES, 199-; O DIODO, 1984).

Em odontologia, a cor da luz é importante e está determinada pela composição química do semicondutor. Quando a combinação dos elétrons passa por níveis de alta energia para baixa energia, a diferença de energia é liberada na forma de fótons. Assim, a luz produzida por um LED pode apresentar um estreito intervalo de comprimento de onda.

O aparelho Elipar® FreeLight (3M-ESPE, 2001) está constituído por 19 LEDs os quais estão distribuídos em três camadas (Figuras 8 e 9). A distância entre as camadas, a angulação dos LEDs em cada camada e o ângulo de emissão de cada LED estão dispostos para que os feixes de luz continuem de forma direta ao longo da ponta ativa. As características deste aparelho são:

- a) comprimento de onda da luz emitida: 440 a 490 nm;
- b) intensidade de luz: aproximadamente 400 mW/cm²;
- c) opções de tempos de exposição: 10, 20, 30 e 40 segundos;
- d) ponta ativa de 7 mm de diâmetro;
- e) bateria recarregável: 4.8 V;
- f) duração de uso contínuo: 7 minutos;
- g) tempo de carregamento da bateria até a carga máxima: duas horas.



Figura 6 - Aparelho à base de LEDs Elipar® FreeLight (3M-ESPE)

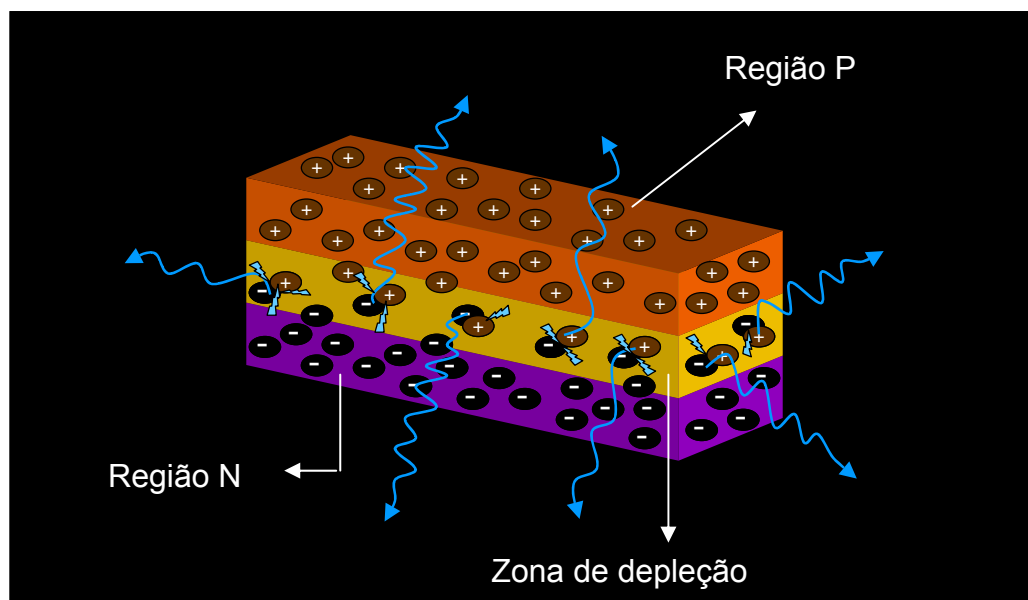


Figura 7 - Região P-N de um Diodo semicondutor LED
Fonte: Adaptado de O DIODO (1984)



Figura 8 - Vista frontal do aparelho à base de LEDs mostrando a disposição dos 19 LEDs

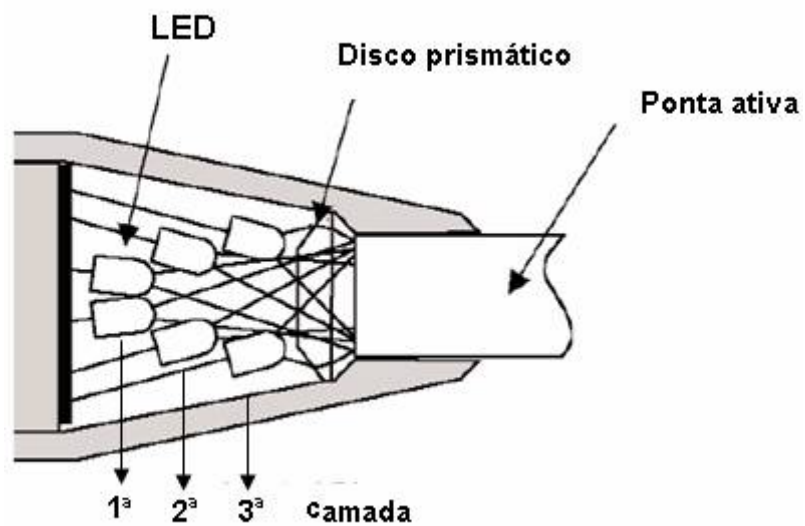


Figura 9 - Esquema mostrando a distribuição dos LEDs
Nota: Adaptado de 3M-ESPE, 2001

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES

Com a finalidade de comparar as características dos aparelhos foram determinados o espectro de emissão (nm) e a potência (mW).¹

Para a verificação do comprimento de onda emitido pelas duas fontes de luz testadas, foi utilizado um espectrômetro USB2000, UV-Vis (Ocean Optics), com resolução de 1nm em um intervalo de 200 a 800 nm.

Para a medida da potência utilizou-se um Power Meter (Ophir)². Este aparelho possui a capacidade de medir a potência emitida por uma luz em Watts.

O espectro de emissão e a potência foram determinados quando cada aparelho foi acionado durante 40 segundos utilizando a modalidade contínua ou convencional dos aparelhos. Um monitor foi conectado aos aparelhos o que permitiu extrair os dados.

Para o cálculo da intensidade de luz emitida pelos aparelhos utilizou-se a seguinte fórmula:

$$I = \frac{P}{A} \quad (4.3.1)$$

Onde:

I = Intensidade de luz

P = Potência (mW)

A = Área da ponta ativa do aparelho (cm)

¹ Laboratório de Óptica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP, São Carlos

² Modelo NOVA com cabeça 3A-P-CAL

A área foi calculada através da seguinte fórmula:

$$A = \pi r^2 \quad (4.3.2)$$

Onde:

$\pi = 3,1416$ (constante)

r = raio da ponta ativa do aparelho (0,35 cm)

Paralelamente ao cálculo da intensidade de luz através do valor da potência, este valor também foi aferido através de um radiômetro digital Cure Rite (EFOS).³ Este aparelho apresenta um orifício central onde se encontra uma célula de silício que ao ser sensibilizada pela luz produz em seus terminais uma tensão proporcional à potência da luz incidente. Este valor é registrado pelo dispositivo digital e convertido em valores correspondentes à intensidade de luz emitida (mW/cm^2).

O radiômetro digital foi aferido previamente à sua utilização no Instituto de Física de São Carlos, através da utilização de fontes padrões de laser argônio na linha de 488 nm.⁴

A aferição do aparelho de luz halógena realizou-se seguindo as indicações do fabricante. Foi acionado o aparelho durante 60 segundos para conseguir o aquecimento da lâmpada halógena. Foram realizadas três medições consecutivas de 10 segundos cada, com um intervalo de 10 segundos entre elas. Para cada aferição a ponta ativa do aparelho foi posicionada e estabilizada diretamente acima do orifício fotossensível do radiômetro. O resultado foi a média expressa em mW/cm^2 .

³ EFOS Inc., Williamsville, New York, U.S.A

⁴ Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo. Física e Ciência dos Materiais – Prof Vanderlei S. Bagnato

Para o aparelho à base de LEDs, por emitir luz através de diodos, não foi necessário esperar os 60 segundos para o aquecimento. Para determinar se a intensidade de luz do aparelho permanecia constante e verificar se não diminuiu em relação ao tempo em que o aparelho permaneceu fora da base ou carregador, foram realizadas 10 medições consecutivas. O aparelho permaneceu ligado com a ponta ativa apoiada diretamente na superfície fotossensível do radiômetro digital durante 10 segundos, logo foi desligado e colocado na base do aparelho durante 30 segundos, 60 segundos e 90 segundos, para determinar a variação da intensidade de luz. (Gráficos 1, 2 e 3).

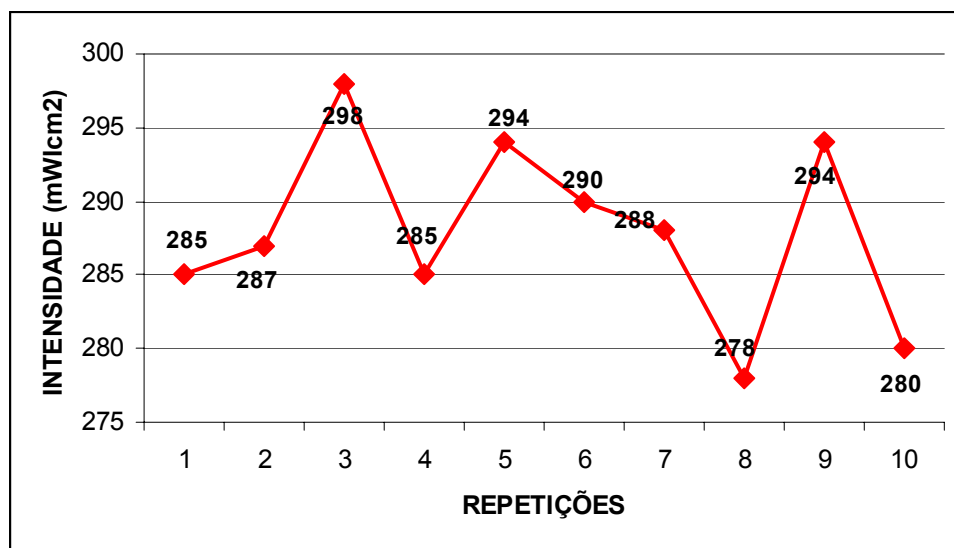


Gráfico 1 - Variação da intensidade para 30 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs

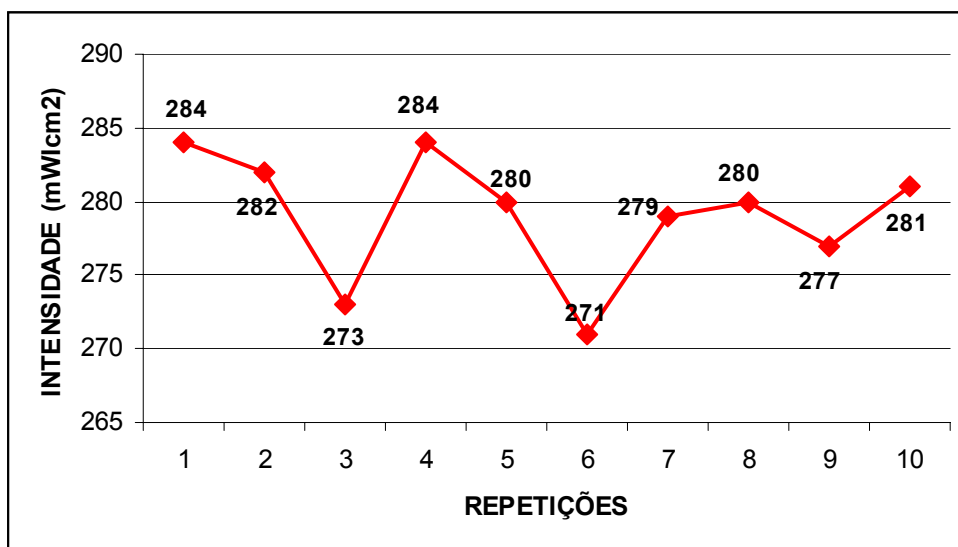


Gráfico 2 - Variação da intensidade para 60 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs

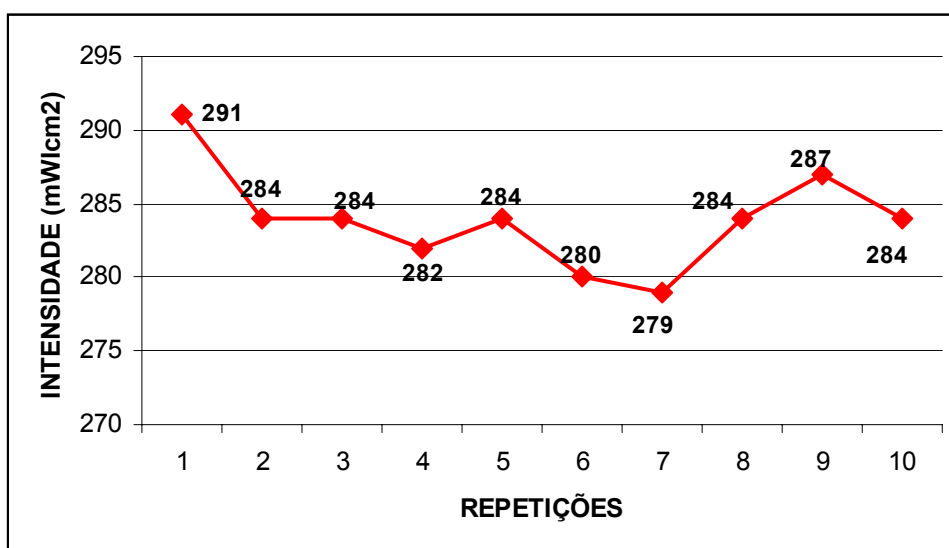


Gráfico 3 - Variação da intensidade para 90 segundos de permanência na base, para o aparelho à base de LEDs

Foi utilizado o tempo de carregamento de 90 segundos como intervalo entre as medições por apresentar a intensidade de luz mais estável durante as dez aferições.

4.4 GRUPOS EXPERIMENTAIS

Para o estudo da variável microdureza superficial foi através da confecção de 10 corpos-de-prova para cada resina composta associando os fatores de variação levados em conta nesta pesquisa (cor da resina composta e tipo de fonte de luz). Cada fator apresentou duas formas de variação (duas cores e duas fontes de luz). Segundo os dados anteriores, as combinações de resina composta/cor/tipo de fonte de luz foram identificados pelos grupos citados na Tabela 3, obtendo-se 16 grupos experimentais.

Tabela 3 - Grupos experimentais

GRUPO	MATERIAL/FABRICANTE	COR	APARELHO/FABRICANTE
G1	Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent)	A2	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G2	Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent)	A2	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G3	Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent)	XL	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G4	Tetric [®] Ceram (Ivoclar Vivadent)	XL	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G5	Filtek [™] Z 250 (3M-ESPE)	A2	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G6	Filtek [™] Z 250 (3M-ESPE)	A2	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G7	Filtek [™] Z 250 (3M-ESPE)	B 0.5	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G8	Filtek [™] Z 250 (3M-ESPE)	B 0.5	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G9	Charisma [®] (Heraeus Kulzer)	A2	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G10	Charisma [®] (Heraeus Kulzer)	A2	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G11	Charisma [®] (Heraeus Kulzer)	SL	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G12	Charisma [®] (Heraeus Kulzer)	SL	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G13	Esthet X (Dentsply)	A2	Curing Light 2500 (3M-ESPE)
G14	Esthet X (Dentsply)	A2	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)
G15	Esthet X (Dentsply)	XL	Curing Light 2500 (3M-ESPE))
G16	Esthet X (Dentsply)	XL	Elipar [®] FreeLight (3M-ESPE)

4.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram confeccionados em matrizes metálicas para evitar a dispersão da luz através da matriz. (ANDRADE, 2001; CARREIRA; VIEIRA, 2002).

A matriz de formato circular com uma cavidade interna com 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura foi preenchida com as diferentes resinas compostas testadas. O desenho da matriz apresenta-se na Figura 10.



Figura 10 - Matriz metálica

Previamente ao preenchimento da cavidade da matriz com cada um dos materiais em teste, utilizou-se uma fina película de vaselina líquida que foi colocada com ajuda de um cotonete, para isolar a resina composta do metal e facilitar a remoção dos corpos-de-prova após fotopolimerização. Em seguida, a matriz metálica foi colocada sobre uma placa de vidro com uma tira de poliéster interposta entre esta e a matriz, conforme o esquema a seguir (Figura 11).

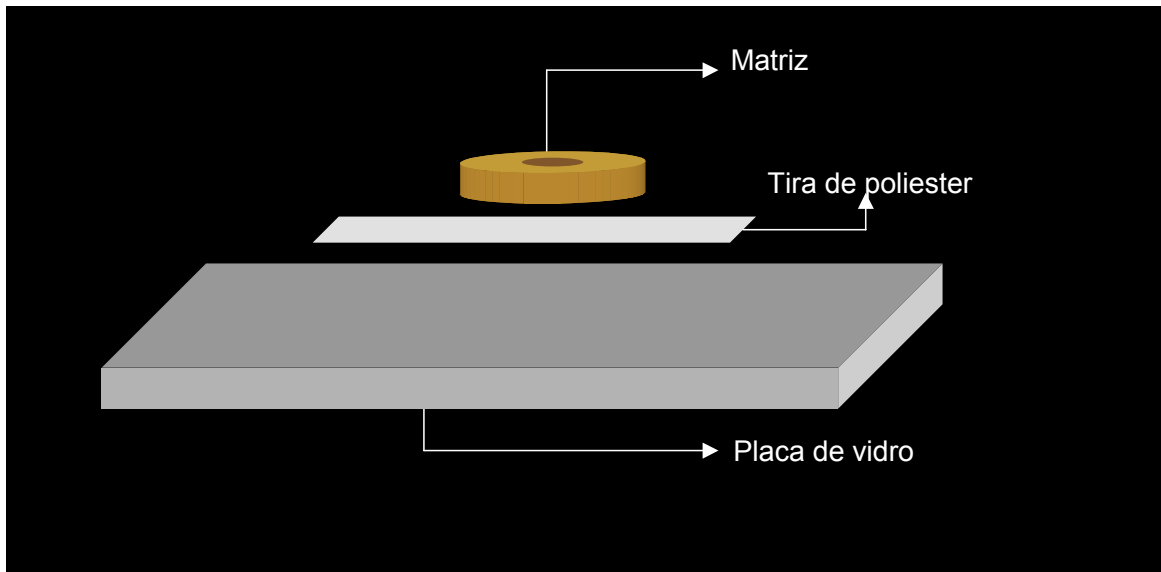


Figura 11 - Seqüência de colocação dos componentes antes da inserção da resina composta

A resina composta foi inserida no interior da cavidade em um único incremento com uma espátula Thompson (TD4X) tomando-se cuidado para evitar a inclusão de bolhas de ar. Após a inserção do material, colocou-se acima da matriz, uma outra tira de poliéster e uma placa de vidro como ilustra a Figura 12.

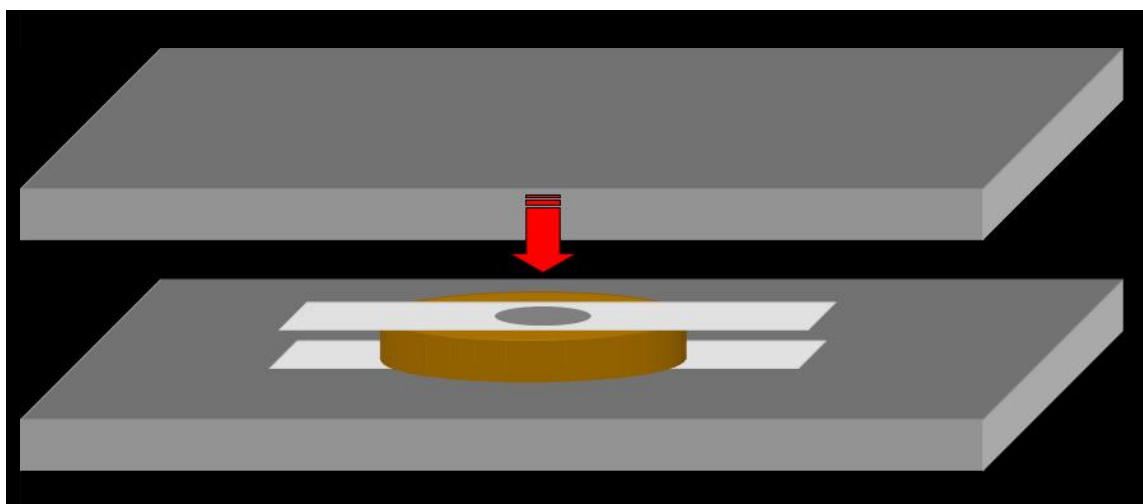


Figura 12 - Seqüência de colocação dos componentes após a inserção da resina composta

Colocou-se a placa de vidro superior sobre a matriz, sem compressão, apenas com o peso da própria placa (266,42 g). Este procedimento permitiu o escoamento do excesso de material e a obtenção de uma superfície nivelada com a

matriz metálica. Para evitar um movimento de báscula da placa de vidro superior foram colocados dois discos da mesma espessura da matriz (2 mm) formando um tripé, garantindo que os corpos-de-prova apresentassem espessuras iguais em toda sua extensão. Uma vez realizado este procedimento a placa de vidro permaneceu apoiada sobre a matriz durante 25 segundos, tempo que permitiu conseguir uma superfície lisa. A seguir, removeu-se a placa de vidro superior e aplicou-se a ponta ativa da fonte ativadora diretamente sobre a tira de poliéster durante 40 segundos (DUNN; BUSH, 2002; FAN et al., 2002; HANSEN; ASMUSSEN, 1993; PEREIRA et al., 1997; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2001). O processo de fotopolimerização foi monitorado sempre com um cronômetro digital (Thechnos) como mostra a Figura 13, para determinar o intervalo de desligamento automático ou aviso sonoro dos aparelhos de fotopolimerização utilizados. Verificou-se que os dois aparelhos não apresentaram diferenças em relação ao tempo observado no cronômetro.



Figura 13 - Processo de fotopolimerização controlado por um cronômetro digital

4.6 ANÁLISE DA MICRODUREZA SUPERFICIAL

Após a fotopolimerização, os corpos-de-prova foram identificados, diferenciando a superfície de topo e de base e classificados de acordo com o grupo que pertenciam, com ajuda de um marcador permanente. A seguir, foram envoltos em papel alumínio e armazenados secos em um recipiente escuro à prova de luz durante 24 horas. (DUNN; BUSH, 2002; FAN et al., 2002; HANSEN; ASMUSSEN, 1993; LEONARD, 2002 et al.; TURBINO et al., 1992).

A obtenção dos valores de microdureza foi realizada ao completar 24 horas da confecção dos corpos-de-prova. Após este tempo, cada corpo-de-prova foi dividido em 4 quadrantes com ajuda de uma lâmina de bisturi nº15. Este procedimento facilitou a orientação no momento do teste e permitiu obter impressões aleatórias. O teste de microdureza Vickers foi realizado através do microdurômetro MMT-3 Digital Microhardness Tester(Buehler)⁵ com carga de 50 gf durante 30 segundos para cada impressão (Figura 14). Realizaram-se 4 impressões na superfície de topo e 4 na superfície de base (uma impressão por quadrante). O resultado fatorial foi estabelecido em: 16 grupos, 10 repetições e 4 impressões por superfície o que totalizou em 160 corpos-de-prova e 1280 impressões.

Uma vez obtidos estes valores, foram calculadas as médias de microdureza para cada superfície analisada: topo (superfície em contato direto com a fonte de luz) e base (superfície afastada da fonte de luz).

⁵ Lake Bluff, Illinois, USA



Figura 14 - Microdurômetro digital

Os resultados foram obtidos em HV (kgf/mm^2 -Hardness Vickers) e registrados em tabelas confeccionadas especificamente para esta pesquisa, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela de registro de dados

		Quadrantes				Média (HV)
		1	2	3	4	
GRUPO	T					
	B					
	T					
	B					
	T					
	B					
	T					
	B					
	T					
	B					

4.7 PORCENTAGEM DE PROFUNDIDADE DE POLIMERIZAÇÃO

Como um indicador da efetividade de polimerização, foi calculado a porcentagem de profundidade de polimerização. Para determinar este valor foram divididas as médias de microdureza da superfície de base pelas médias de microdureza da superfície de topo e o resultado foi multiplicado por 100. Como pode-se visualizar na seqüência.

$$\begin{array}{lcl} \text{Porcentagem} & & \text{Superfície de base} \\ \text{de} & = & \text{-----} \times 100 \\ \text{Polimerização} & & \text{Superfície de topo} \end{array} \quad (4.7.1)$$

4.8 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL ESTATÍSTICO

Para a variável microdureza superficial foram gerados três fatores de variação: resina composta (quatro marcas comerciais), cor da resina composta (duas cores por resina composta) e duas fontes de luz (halógena e LEDs). Para evitar influência pessoal nos valores de microdureza no momento de realizar as leituras, as condições experimentais foram avaliadas aleatoriamente. Foi realizada estatística descritiva (média e desvio padrão). As médias de microdureza foram avaliadas através da análise de Variância multifatorial (MANOVA). O modelo estatístico fatorial resultou em 10 X 4 X 2 X 2. Para todos os testes adotou-se como nível de significância o valor 5%. Se $p > 0,05$ a hipótese de nulidade (H_0) foi aceita, onde não há diferenças entre os valores de microdureza. No caso $p \leq 0,05$, rejeitou-se H_0 .

procedendo-se à comparação entre os fatores, dois a dois, utilizando-se o teste de Tukey. Todos estes cálculos foram realizados para a superfície de topo e de base. O “teste t para amostras pareadas” foi utilizado para comparações entre as superfícies.

O programa estatístico utilizado para analisar os dados foi o programa Statistica® 6.0.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DOS APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES

O Gráfico 4 e a Tabela 5 mostram os valores encontrados para o espectro de emissão dos aparelhos testados.

Gráfico 4 - Espectro de emissão das duas fontes de luz utilizadas
Nota: au - unidades arbitrárias.

Os dois aparelhos fotopolimerizadores apresentaram emissão na região azul do espectro de luz visível. O espectro de emissão do aparelho de luz Curing Light 2500 (3M-ESPE) foi aproximadamente entre 400 e 520 nm com um pico de emissão em 490 nm. Para o aparelho à base de LEDs Elipar[®] FreeLight (3M-ESPE) o espectro de emissão foi aproximadamente de 430 nm a 520 nm com um pico de emissão em 470 nm aproximadamente.

Tabela 5 - Valores de potência e intensidade de luz

APARELHO	POTÊNCIA	DIÂMETRO DA PONTA ATIVA	INTENSIDADE DE LUZ Radiômetro Digital	INTENSIDADE DE LUZ Calculado
Ciring Light 2500 (3M-ESPE)	300 mW	7 mm	775 mW/cm ²	780 mW/cm ²
Elipar® FreeLight (3M-ESPE)	117 mW	7 mm	284 mW/cm ²	304 mW/cm ²

5.2 MICRODUREZA SUPERFICIAL

A análise descritiva dos dados obtidos foi registrada na Tabela 6 (Média e Desvio Padrão). Esta análise foi realizada para as superfícies de topo e de base. Os dados originais coletados estão contidos no Apêndice A. Os valores de microdureza foram representados na unidade de medida VH.

Tabela 6 - Média e desvio padrão para os valores de microdureza

GRUPO	RESINA COMPOSTA	COR	FONTE	TOPO		BASE	
				MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
G1	Tetric® Ceram	A2	HALÓGENA	33,70	3,76	29,14	1,63
G2	Tetric® Ceram	A2	LED	28,89	2,64	23,24	3,30
G3	Tetric® Ceram	XL	HALÓGENA	30,78	0,95	18,58	0,74
G4	Tetric® Ceram	XL	LED	22,97	2,56	12,81	2,50
G5	Filtek™ Z 250	A2	HALÓGENA	67,94	5,20	60,31	5,07
G6	Filtek™ Z 250	A2	LED	51,32	1,40	46,10	1,99
G7	Filtek™ Z 250	B 0.5	HALÓGENA	64,09	8,68	53,11	5,68
G8	Filtek™ Z 250	B 0.5	LED	52,12	1,35	46,42	1,04
G9	Charisma®	A2	HALÓGENA	36,39	2,67	31,85	2,28
G10	Charisma®	A2	LED	39,10	1,54	29,45	1,95
G11	Charisma®	SL	HALÓGENA	30,60	2,17	29,11	1,71
G12	Charisma®	SL	LED	30,86	1,42	23,51	2,03
G13	Esthet X	A2	HALÓGENA	45,78	7,12	38,58	2,01
G14	Esthet X	A2	LED	37,28	1,67	31,59	2,49
G15	Esthet X	XL	HALÓGENA	36,06	2,29	33,90	1,20
G16	E sthet X	XL	LED	37,50	0,97	31,67	1,37

5.2.1 Superfície de Topo

Os resultados da Análise de Variância resultaram nos valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da análise de variância multifatorial para a superfície de topo

CAUSA DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	F	p
Resina composta	3	6781,939	515,036	0,001
Cor	1	783,819	59,525	0,001
Tipo de fonte	1	1282,750	97,415	0,001
Resina * Cor	3	50,865	3,863	0,011
Resina * Tipo de fonte	3	435,093	33,042	0,001
Cor * Tipo de fonte	1	52,287	3,971	0,048
Resina * Cor * Tipo de fonte	3	95,382	7,244	0,001

Nota: $p \leq 0,05$ valor significativo

Os resultados da Análise de Variância multifatorial mostraram diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) quando os fatores foram analisados individualmente e quando foram analisadas as interações entre eles. Como mostra a Tabela 7, a influência nos valores de microdureza da interação entre cor e tipo de fonte de luz ($p = 0,048$) para a superfície de topo não foi muito evidente.

O teste de Tukey foi aplicado para contrastar as médias entre as interações: resina composta X cor, resina composta X tipo de fonte de luz, cor X tipo de fonte de luz e resina composta X cor X tipo de fonte de luz.

5.2.1.1 Efeito da Interação resina composta e cor

A Tabela 8 mostra a interação entre a resina composta e a cor da resina composta. Observa-se que para todas as resinas compostas testadas na cor

A2, exceto para a resina composta Filtek™ Z 250, obtiveram-se maiores valores de microdureza que sua respectiva cor extraclara ($p < 0,05$). Isso significa que o fator cor interferiu na variação dos resultados apresentados pelas resinas compostas.

Tabela 8 - Contraste de médias para interação resina composta e cor para a superfície de topo

RESINA COMPOSTA	COR	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
Tetric® Ceram	A2	31,29	d
Tetric® Ceram	XL	26,87	e
Filtek™ Z 250	A2	59,63	a
Filtek™ Z 250	B0.5	58,11	a
Charisma®	A2	37,74	c
Charisma®	SL	30,73	d
Esthet X	A2	41,53	b
Esthet X	XL	36,78	c

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

5.2.1.2 Efeito da interação resina composta e tipo de fonte de luz

A interação entre a resina composta e o tipo de fonte de luz foi significativa ($p = 0,001$) conforme apresentado na Tabela 7. Isto significa que o fator tipo de fonte de luz influenciou na variação dos resultados de microdureza apresentados pelas resinas compostas quando analisado na ausência da cor. Na Tabela 9 observa-se que para todas as resinas compostas o aparelho de luz halógena proporcionou maiores valores de microdureza que o aparelho à base de LEDs ($p < 0,05$). Este comportamento não foi observado para a resina composta Charisma®, onde os resultados não evidenciaram diferenças quando esta resina composta foi polimerizada com o aparelho de luz halógena ou à base de LEDs ($p > 0,05$).

Tabela 9 - Contraste de médias para interação resina composta e tipo de fonte de luz para superfície de topo

RESINA COMPOSTA	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
Tetric® Ceram	HALÓGENA	32,24	e
Tetric® Ceram	LEDs	25,93	f
Filtek™ Z 250	HALÓGENA	66,01	a
Filtek™ Z 250	LEDs	51,72	b
Charisma®	HALÓGENA	33,49	e
Charisma®	LEDs	34,98	de
Esthet X	HALÓGENA	40,92	c
Esthet X	LEDs	37,39	d

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

5.2.1.3 Efeito da interação cor e tipo de fonte de luz

A interação entre cor e tipo de fonte de luz apresentou a menor influência nos resultados para a superfície de topo, mesmo assim foi significativa ($p=0,048$). Conforme apresentado na Tabela 10, pode-se observar que o tipo de fonte de luz utilizado exerceu influência na variação dos resultados apresentados pela cor da resina composta ($p<0,05$). Em termos de cor, também se observou diferenças, sendo que a cor extraclara obteve menores valores de microdureza independente do tipo de fonte utilizado ($p<0,05$).

Tabela 10 - Contraste de médias para interação cor e tipo de fonte de luz para superfície de topo

COR	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
A2	HALÓGENA	45,95	a
A2	LEDs	39,14	b
EXTRACLARA	HALÓGENA	40,38	b
EXTRACLARA	LEDs	35,86	c

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

5.2.1.4 Efeito da interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz

A interação entre a resina composta, cor e o tipo de fonte de luz foi significativa ($p= 0,001$) conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 11 – Contraste de médias para a interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz para a superfície de topo

GRUPO	RESINA COMPOSTA	COR	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
G1	Tetric [®] Ceram	A2	HALÓGENA	33,70	defg
G2	Tetric [®] Ceram	A2	LEDs	28,89	g
G3	Tetric [®] Ceram	XL	HALÓGENA	30,78	fg
G4	Tetric [®] Ceram	XL	LEDs	22,97	h
G5	Filtek [™] Z250	A2	HALÓGENA	67,94	a
G6	Filtek [™] Z250	A2	LEDs	51,32	bc
G7	Filtek [™] Z250	B 0.5	HALÓGENA	64,09	a
G8	Filtek [™] Z250	B 0.5	LEDs	52,12	b
G9	Charisma [®]	A2	HALÓGENA	36,39	d
G10	Charisma [®]	A2	LEDs	39,10	d
G11	Charisma [®]	SL	HALÓGENA	30,60	fg
G12	Charisma [®]	SL	LEDs	30,86	efg
G13	Esthet X	A2	HALÓGENA	45,78	c
G14	Esthet X	A2	LEDs	37,28	d
G15	Esthet X	XL	HALÓGENA	36,06	def
G16	Esthet X	XL	LEDs	37,50	d

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

Os resultados apresentados na Tabela 11 apresentam o contraste de médias para a interação entre a resina composta, cor e tipo de fonte de luz utilizada. Esta tabela mostra os diferentes comportamentos entre as interações para cada resina composta.

Para a resina composta Tetric[®] Ceram não houve diferenças estatísticas quando a cor A2 foi polimerizada com o aparelho de luz halógena ou à base de LEDs e quando a cor A2 e a cor XL foram polimerizadas com o aparelho de luz halógena. Uma diminuição nos valores de microdureza foi registrada quando a cor XL foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs ($p<0,05$).

A resina composta Filtek™ Z250 evidenciou valores baixos de microdureza quando esta foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs, independentemente da cor ($p < 0,05$). Não houve diferenças estatísticas quando se compararam as duas cores da resina composta quando estas foram fotopolimerizadas com o mesmo tipo de fonte de luz ($p > 0,05$).

A resina composta Charisma® atingiu maiores valores de microdureza para a cor A2 independente da fonte de luz utilizada e o menor valor foi gerado quando a cor SL foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs ($p < 0,05$). Para a resina composta Esthet X a cor A2 obteve os maiores valores de microdureza quando fotopolimerizada com o aparelho de luz halógena ($p < 0,05$).

5.2.2 SUPERFÍCIE DE BASE

Os resultados da Análise de Variância multifatorial apresentado na Tabela 12 mostram diferenças estatísticas significantes quando os fatores foram analisados individualmente e quando houve interações entre eles ($p < 0,05$).

Tabela 12 - Resultados da análise de variância multifatorial para a superfície de base

CAUSA DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	F	p
Resina composta	3	6752,287	956,132	0,001
Cor	1	1057,632	149,762	0,001
Tipo de fonte	1	1550,243	219,516	0,001
Resina * Cor	3	134,451	19,038	0,001
Resina * Tipo de fonte	3	85,164	12,059	0,001
Cor * Tipo de fonte	1	53,263	7,542	0,007
Resina * Cor * Tipo de fonte	3	56,946	8,064	0,001

Nota: $p \leq 0,05$ valor significante

O teste de Tukey foi aplicado para contrastar as médias entre as interações: resina composta X cor, resina composta X tipo de fonte de luz, cor X tipo de fonte de luz e resina composta X cor X tipo de fonte de luz, de maneira semelhante como foi executada para a superfície de topo.

5.2.2.1 Efeito da interação resina composta e cor

O contraste de médias para interação entre a resina composta e a cor do material pode-se observar na Tabela 13. Este contraste foi determinado porque a Tabela 12 mostra diferenças para a interação entre estes fatores ($p < 0,001$). Isso significa que o fator cor interferiu na variação dos resultados apresentados pelas resinas compostas.

Tabela 13 - Contraste de médias para interação resina composta e cor na superfície de base

RESINA COMPOSTA	COR	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
Tetric® Ceram	A2	26,19	f
Tetric® Ceram	XL	15,69	g
Filtek™ Z 250	A2	53,20	a
Filtek™ Z 250	B0.5	49,77	b
Charisma®	A2	30,65	e
Charisma®	SL	26,31	f
Esthet X	A2	35,08	c
Esthet X	XL	32,79	d

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

Para todas as resinas compostas a cor A2 obteve maiores valores de microdureza que sua respectiva cor extraclara mostrando que a interação destes influenciou nos resultados ($p < 0,05$).

5.2.2.2 Efeito da interação resina composta e tipo de fonte de luz

A interação entre a resina composta e o tipo de fonte de luz foi significativa ($p = 0,001$) conforme apresentado na Tabela 12. Isto significa que o fator tipo de fonte de luz influenciou na variação dos resultados de microdureza apresentados pelas resinas compostas quando analisado na ausência da cor.

Tabela 14 - Contraste de médias para interação resina composta e tipo de fonte de luz na superfície de base

RESINA COMPOSTA	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
Tetric® Ceram	HALÓGENA	23,86	f
Tetric® Ceram	LEDs	18,02	g
Filtek™ Z 250	HALÓGENA	56,71	a
Filtek™ Z 250	LEDs	46,26	b
Charisma®	HALÓGENA	30,48	d
Charisma®	LEDs	26,48	e
Esthet X	HALÓGENA	36,24	c
Esthet X	LEDs	31,63	d

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

Na Tabela 14 observa-se que para todas as resinas compostas o aparelho de luz halógena proporcionou maiores valores de microdureza que o aparelho à base de LEDs ($p < 0,05$).

5.2.2.3 Efeito da interação cor e tipo de fonte de luz

Conforme apresentado na Tabela 12, verificou-se que o tipo de fonte de luz utilizado exerceu influência na variação dos resultados apresentados pela cor da resina composta ($p = 0,007$). Pode-se observar na Tabela 15 que a cor A2 quando polimerizada com o aparelho de luz halógena obteve maiores médias de microdureza quando comparada com a cor extraclara. Os resultados foram ainda menores quando a cor extraclara foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs ($p < 0,05$).

Tabela 15 - Contraste de médias para interação cor e tipo de fonte de luz para superfície de base

COR	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
A2	HALÓGENA	39,97	a
A2	LEDs	32,59	b
EXTRACLARA	HALÓGENA	33,67	b
EXTRACLARA	LEDs	28,60	c

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

5.2.2.4 Efeito da interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz

A interação entre a resina composta, cor e o tipo de fonte de luz foram significantes ($p= 0,001$) conforme apresentado na Tabela 12. Os resultados apresentados na Tabela 16 mostram o contraste de médias para a interação entre a resina composta, cor e tipo de fonte de luz utilizada.

Tabela 16 – Contraste de médias para a interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz para a superfície de base

GRUPO	RESINA COMPOSTA	COR	TIPO DE FONTE DE LUZ	MÉDIA	CONTRASTE DE MÉDIAS
G1	Tetric [®] Ceram	A2	HALÓGENA	29,14	f
G2	Tetric [®] Ceram	A2	LED	23,24	g
G3	Tetric [®] Ceram	XL	HALÓGENA	18,58	h
G4	Tetric [®] Ceram	XL	LED	12,81	i
G5	Filtek [™] Z 250	A2	HALÓGENA	60,31	a
G6	Filtek [™] Z 250	A2	LED	46,10	c
G7	Filtek [™] Z 250	B 0.5	HALÓGENA	53,11	b
G8	Filtek [™] Z 250	B 0.5	LED	46,42	c
G9	Charisma [®]	A2	HALÓGENA	31,85	ef
G10	Charisma [®]	A2	LED	29,45	f
G11	Charisma [®]	SL	HALÓGENA	29,11	f
G12	Charisma [®]	SL	LED	23,51	g
G13	Esthet X	A2	HALÓGENA	38,58	d
G14	Esthet X	A2	LED	31,59	ef
G15	Esthet X	XL	HALÓGENA	33,90	e
G16	Esthet X	XL	LED	31,67	ef

Nota: Letras minúsculas diferentes implicam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o Teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 16 diferentes comportamentos foram registrados para cada resina composta.

A resina composta Tetric[®] Ceram mostrou diferenças entre todas as combinações. Quando a resina composta Filtek[™] Z250 foi fotopolimerizada com o aparelho de luz halógena atingiu maiores valores de microdureza, mesmo assim, a cor A2 obteve maiores valores do que a cor extraclara B0.5 ($p<0,05$).

Menores valores de microdureza obtiveram-se para a resina composta Charisma[®] cor SL quando fotopolimerizada com o aparelho à base de LEDs. Para as outras combinações não houve diferenças. Quando a resina composta Esthet X cor A2 foi fotopolimerizada com o aparelho de luz halógena, maiores valores de microdureza foram encontrados os quais diferiram dos resultados para as outras combinações desta mesma resina composta.

O comportamento de todas as resinas compostas, tanto para a superfície de topo quanto para a de base, está ilustrado nos Gráficos 5, 6, 7 e 8.

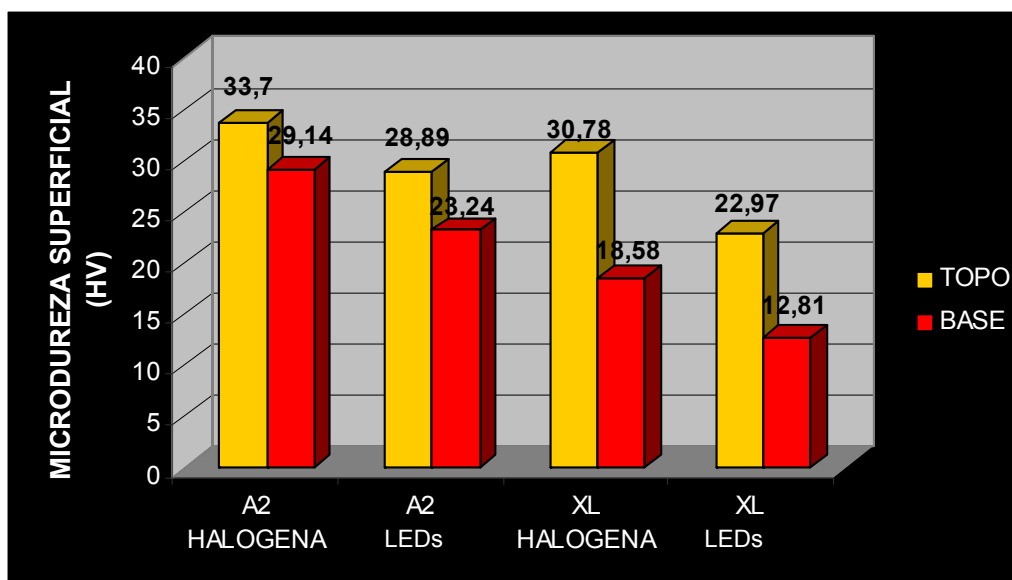


Gráfico 5 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Tetric® Ceram (Ivoclar Vivadent) fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena

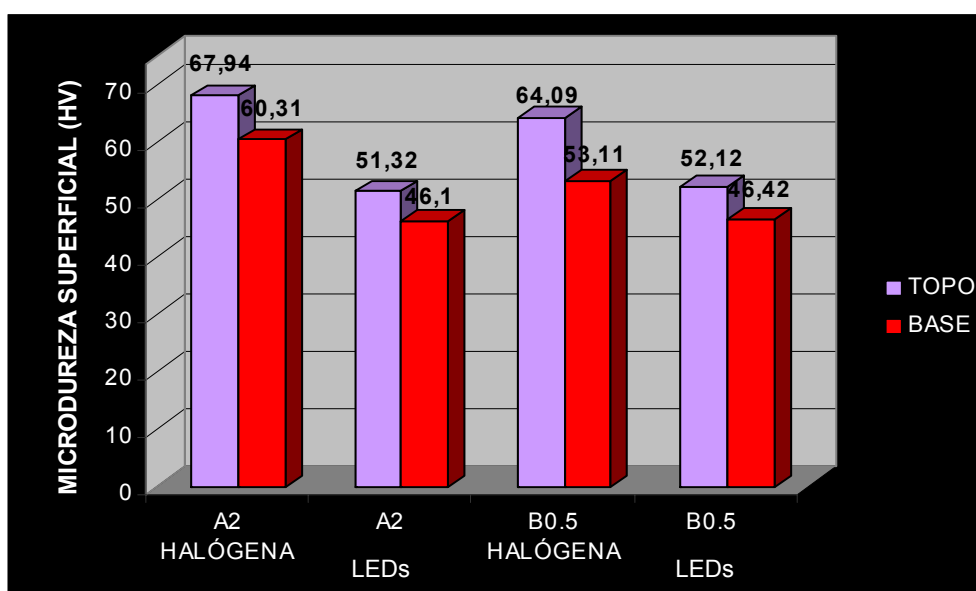


Gráfico 6 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Filtek™ Z250 (3M-ESPE) fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena

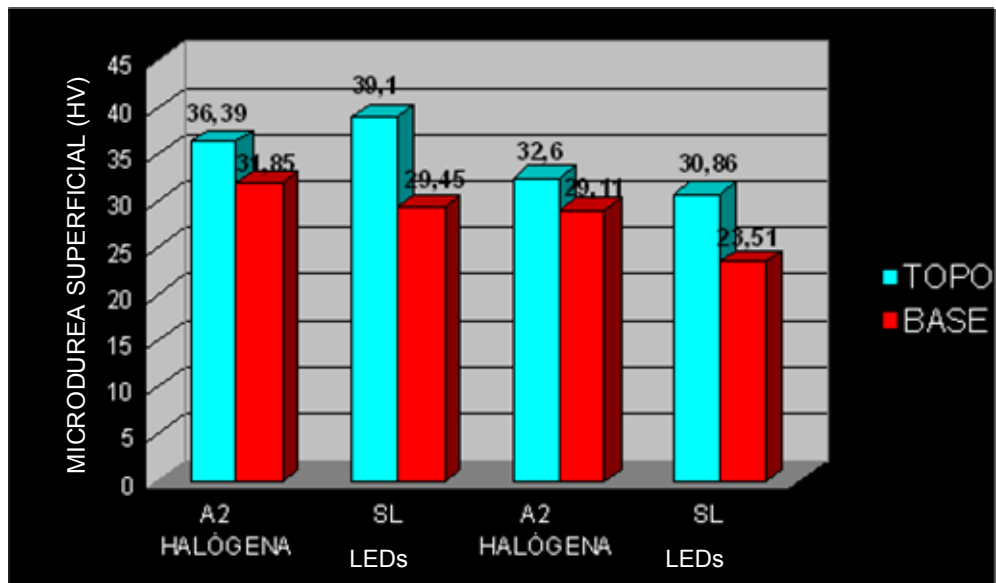


Gráfico 7 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Charisma® (Heraeus Kulzer), fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena

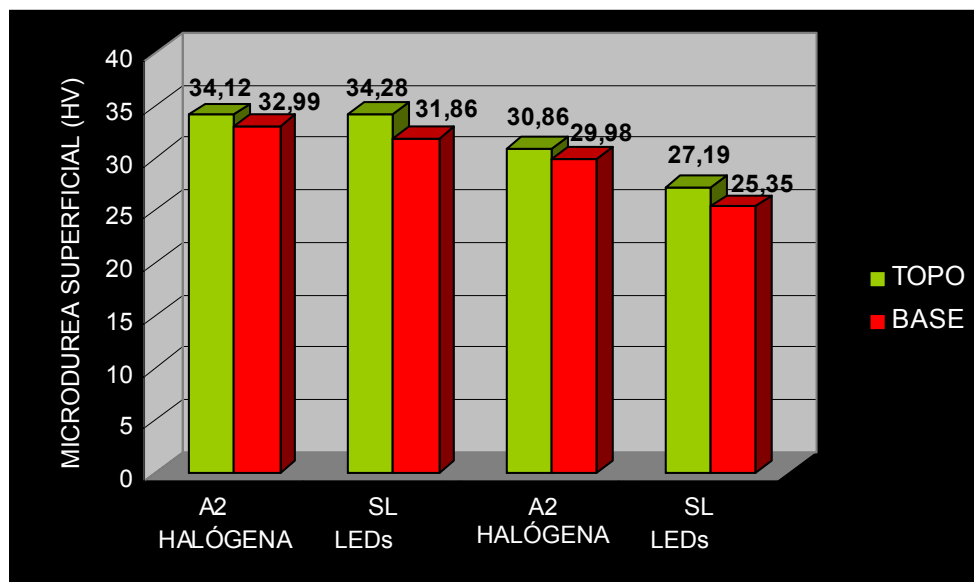


Gráfico 8 - Valores de microdureza Vickers para a superfície de topo e de base da resina composta Esthet X (Dentsply), fotopolimerizada com o sistema de LEDs e com o sistema de luz halógena

5.3 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE MICRODUREZA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE TOPO E DE BASE

Aplicou-se o teste t para amostras independentes para determinar diferenças estatísticas significantes entre os valores de microdureza da superfície de topo e a superfície de base dos diferentes grupos. Estes resultados estão contidos na Tabela 17.

Tabela 17 – Contraste de médias da superfície de topo e de base

GRUPO	RESINA COMPOSTA	COR	TIPO DE FONTE	MÉDIA TOPO	MÉDIA BASE	p
G1	Tetric® Ceram	A2	HALÓGENA	33,70	29,14	0,000363
G2	Tetric® Ceram	A2	LED	28,89	23,24	0,000065
G3	Tetric® Ceram	XL	HALÓGENA	30,78	18,58	0,000001
G4	Tetric® Ceram	XL	LED	22,97	12,81	0,000001
G5	Filtek™ Z 250	A2	HALÓGENA	67,94	60,31	0,000028
G6	Filtek™ Z 250	A2	LED	51,32	46,10	0,000039
G7	Filtek™ Z 250	B 0.5	HALÓGENA	64,09	53,11	0,000776
G8	Filtek™ Z 250	B 0.5	LED	52,12	46,42	0,000001
G9	Charisma®	A2	HALÓGENA	36,39	31,85	0,000887
G10	Charisma®	A2	LED	39,10	29,45	0,000006
G11	Charisma®	SL	HALÓGENA	30,60	29,11	0,165559
G12	Charisma®	SL	LED	30,86	23,51	0,000001
G13	Esthet X	A2	HALÓGENA	45,78	38,58	0,007206
G14	Esthet X	A2	LED	37,28	31,59	0,000001
G15	Esthet X	XL	HALÓGENA	36,06	33,90	0,013372
G16	E sthet X	XL	LED	37,50	31,67	0,000005

Nota: $p \leq 0,05$ diferenças significantes

5.4 PORCENTAGEM DE PROFUNDIDADE DE POLIMERIZAÇÃO

A Tabela 18 e o Gráfico 9 mostram as porcentagens de polimerização para todos os grupos. Utilizando o critério de relação de microdureza de superfície inferior/superior vezes 100, a porcentagem de polimerização deve ser igual o maior a 80% para os corpos-de-prova serem considerados adequadamente

polimerizados. Segundo este conceito, os resultados mostram que G3, G4, G10 e G12 não cumpriram esta relação.

Tabela 18 - Valores de porcentagem de profundidade de polimerização

GRUPO	RESINA COMPOSTA	COR	FONTE DE LUZ	PORCENTAGEM DE POLIMERIZAÇÃO (%)
G1	Tetric [®] Ceram	A2	HALÓGENA	86,47
G2	(Ivoclar Vivadent)	A2	LEDs	80,44
G3		XL	HALOGENA	60,33
G4		XL	LEDs	55,77
G5	Filtek Z [™] 250	A2	HALÓGENA	88,77
G6	(3M-ESPE)	A2	LEDs	89,93
G7		B 0.5	HALOGENA	82,90
G8		B 0.5	LED	89,06
G9	Charisma [®]	A2	HALÓGENA	87,52
G10	(Heraeus Kulzer)	A2	LEDs	75,32
G11		SL	HALOGENA	95,13
G12		SL	LEDs	76,18
G13	Esthet X	A2	HALÓGENA	84,83
G14	(Dentsply)	A2	LEDs	84,74
G15		XL	HALOGENA	94,01
G16		XL	LEDs	85,11

Nota: Os números vermelhos significam valores que não satisfizeram o critério de 80% para considerar polimerização efetiva.

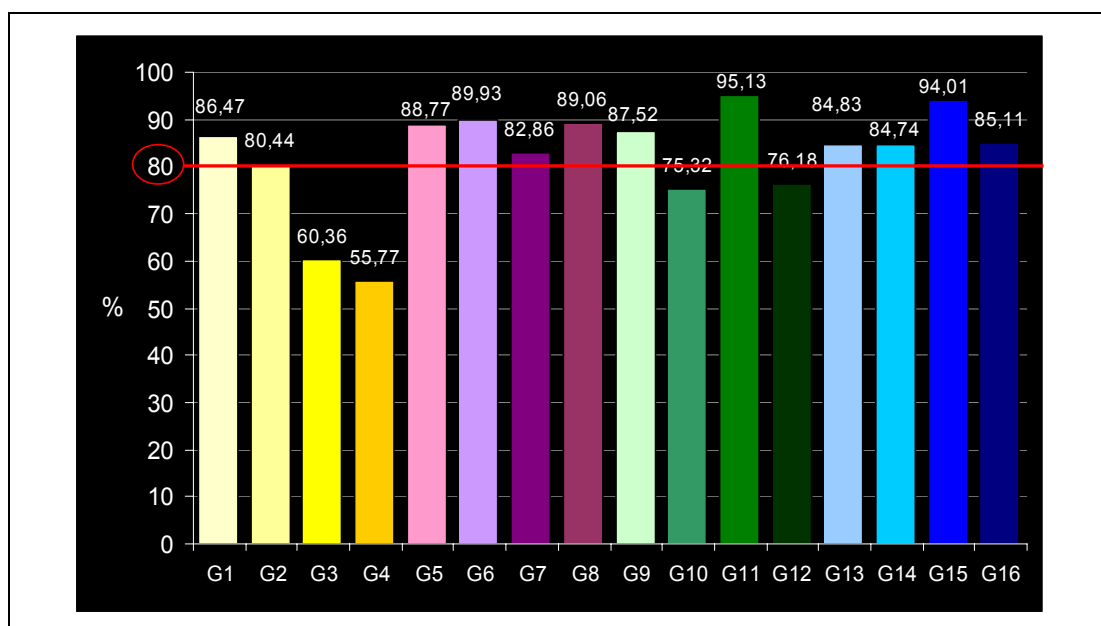


Gráfico 9 - Porcentagem de polimerização obtida para os diferentes grupos.

Nota: a linha vermelha indica o valor de 80% e permite diferenciar os grupos que estão acima e abaixo desta porcentagem

6 DISCUSSÃO

Os produtos e equipamentos dentais devem ser avaliados através de testes de laboratório antes de serem integrados na prática clínica. Estes testes devem ser repetidos e conferidos para assegurar desempenho clínico do material na cavidade oral, porque dentro desta existe uma situação dinâmica onde condições adversas podem ser esperadas e determinam o sucesso ou fracasso de uma restauração.

Este estudo verificou se a polimerização de resinas compostas da cor extraclara de diferentes marcas comerciais foram semelhantes à sua respectiva cor convencional A2, quando polimerizada com um aparelho de luz halógena ou à base de LEDs, através do teste de microdureza Vickers.

Testes *in vitro* avaliam diferentes propriedades mecânicas dos materiais, dentre eles, o teste de microdureza superficial é freqüentemente utilizado. As características da superfície e da composição do material podem influenciar no polimento, formação de fraturas, formação de defeitos na superfície ou na resistência ao desgaste. Assim, a microdureza superficial é um parâmetro utilizado para avaliar a resistência à deformação plástica através de penetração de um instrumento específico. (WANG et al., 2003).

O teste de microdureza Vickers, o qual foi utilizado neste estudo, produz uma impressão na resina composta como resultado da penetração do diamante em forma de pirâmide com base quadrada e um ângulo de 136 graus entre as faces opostas. O diamante fixo ao microdurômetro, penetra a resina composta sob uma determinada carga durante um tempo definido. Neste estudo sujeitou-se a resina composta sob carga de 50 gf durante 30 segundos como nos estudos de Andrade et al. (2001); Consanni et al. (2002); Hansen; Asmussen (1993); Pereira

(1999), Pereira et al. (2004); Rastelli (2002); Ribeiro et al.(2003); Turbino et al. (1992) e Vinha; Coelho e Campos (1990).

O teste de microdureza superficial associado à profundidade de polimerização avalia indiretamente a conversão de monômeros em polímeros da resina composta (HANSEN; ASMUSSEN, 1993; WANG et al., 2003; YEARN, 1985) ou o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores durante a polimerização. (KURACHI et al., 2000; MILLS et al., 2002; PEREIRA, 1999; RASTELLI, 2002; UHL; SIGUSHI; JANDT, 2004).

É importante atingir uma adequada polimerização para o sucesso das restaurações, em outras palavras, é um fator determinante na longevidade desta. Caso contrário, inadequada polimerização poderia resultar em propriedades físicas inferiores, maior solubilidade no meio oral, aumento da microinfiltração e conseqüentemente cárie secundária e irritação pulpar. (CARREIRA; VIEIRA, 2002; FAN et al., 2002; KNĚZEVIĆ et al., 2001; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2001).

Inúmeros fatores determinam ou influenciam a polimerização das resinas compostas, sendo estes dependentes dos aparelhos fotopolimerizadores, do material e das técnicas de restauração como aqui demonstrado neste estudo. Os fatores relacionados aos aparelhos destacam o tipo de fonte de luz, intensidade de luz, comprimento de onda das diversas fontes de luz, manutenção dos aparelhos, entre outras. Em relação à resina composta podemos citar a composição do material, quantidade de carga, cor, índice de refração das partículas e opacidade ou translucidez. Fatores dependentes das técnicas estão relacionados ao tempo de exposição à luz, espessura do incremento de resina composta, forma do incremento, entre outros. (CONSANNI et al.; 2002; DELGADO et al.; 2003; FAN et al., 2002; FRENTZEN; FOLL; BRAUN, 2001; KAWAGUCHI; FUKUSHIMA; MIYAZAKI, 1994;

MIYAZAKI et al., 1998; PARK; CHAE; RAWLS, 1999; PEREIRA et al. 1997; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2001; PEREIRA et al., 2004; TESHIMA et al., 2003; TSAI; MEYERS; WALSH, et al., 2004; UHL; SIGUSH; JANDT , 2004).

De acordo com as Tabelas 7 e 12, os fatores resina composta, cor e tipo de fonte de luz influenciaram nos valores de microdureza quando avaliados individualmente ou para as interações entre eles.

As resinas compostas testadas neste estudo obtiveram diferentes valores de microdureza superficial tanto para a superfície de topo quanto para a superfície de base. Comportamento semelhante foi obtido por Quance et al. (2001). A resina composta Filtek™ atingiu os maiores valores de microdureza independentemente da cor ou fonte utilizada. Esta variação nos resultados está relacionada com a composição destas em função do tipo e tamanho das partículas. Estudos em relação ao tamanho das partículas, realizados por Dunn e Bush (2002); Kawaguchi; Fukushima e Miyazaki (1994) e Leonard et al. (2002) demonstraram que as resinas compostas microhíbridas atingiram maior profundidade de polimerização que as resinas compostas de micropartículas. Estes autores sugeriram que as resinas de micropartículas apresentam menor profundidade de polimerização por conter cargas pequenas que fazem com que a luz se disperse, diminuindo a efetividade da luz ativadora.

As resinas compostas selecionadas nesta pesquisa foram microhíbridas, desta forma, apresentaram diferenças quando comparados os valores de microdureza obtidos entre elas. Embora todas as resinas compostas selecionadas estejam classificadas no mesmo grupo, estas apresentam partículas de diferentes tamanhos como apresentado na Tabela 1.

Os pigmentos incorporados às resinas compostas determinam a cor destas e podem influenciar na qualidade de polimerização. A interação entre a resina composta e a cor influenciou nos valores de microdureza, tanto para a superfície de base quanto para a superfície de topo (Tabelas 8 e 13). Todas as resinas compostas de cor A2 atingiram os maiores valores de microdureza do que sua respectiva cor extraclara para a superfície de topo e para a superfície de base, com exceção da resina composta Filtek™ Z250 (3M-ESPE) na superfície de topo. A interação entre resina composta e cor foi mais evidente na superfície de base, provavelmente por fenômenos de absorção e dispersão da luz por parte dos pigmentos e das partículas presentes, que interferem na profundidade de polimerização.

Estes achados diferem dos resultados encontrados por Ferracane et al. (1986); Kawaguchi; Fukushima e Miyazaki (1994) e Vinha; Coelho e Campos (1990). Estes pesquisadores relataram que a cor escura promove menor profundidade de polimerização quando comparada à cor clara do mesmo material, fato que foi justificado pela incorporação de pigmentos escuros aos materiais restauradores. Estes pigmentos absorvem a luz que passa através da resina composta e interferem na polimerização atuando como filtros seletivos de determinados comprimentos de onda da luz.

Kawaguchi; Fukushima e Miyazaki (1994) encontraram que para todas as resinas compostas testadas a profundidade de polimerização e o coeficiente de transmissão variaram segundo a cor. Os autores sugeriram que as cores escuras e opacas de resinas compostas podem apresentar menor coeficiente de transmissão já que este é influenciado pelo comprimento de onda da luz, índice de refração da resina composta e das partículas, tipo e quantidade de partículas.

Para Ferracane et al. (1986) a transmissão da luz através da resina composta depende do tipo de resina composta e do conteúdo de pigmentos no material e reportaram que a opacidade e translucidez são fatores importantes que afetam a profundidade de polimerização.

Discordando dos achados anteriores, Martins et al. (2002) ao compararem diversos matizes de resina composta com a mesma saturação (A3, B3, C3, D3 e I) encontraram que não houve diferenças estatísticas entre as cores selecionadas. Estes resultados permitiram afirmar que a cor da resina composta parece não ter muita influência sobre a microdureza superficial tanto quanto os outros fatores. Este conceito foi afirmado quando a resina composta foi utilizada em incrementos de 2 mm de espessura sugerindo a técnica estratificada de restauração na prática clínica.

Os resultados de Pereira (1999) sugeriram que a cor não tem influência sobre a microdureza superficial, quando a intensidade de luz empregada é superior a 300 mW/cm². Quando se avaliou a interação entre a cor e o tempo de exposição foi encontrado valores de microdureza iguais para as cores A1 e C4 quando fotopolimerizadas durante 40 segundos, e no tempo de 60 segundos a microdureza foi maior para a cor C4.

Diferentes comportamentos entre duas cores de resina composta foram encontrados por Dunn et al. (1999). Estes autores testaram resina composta nas cores B1 e C4 verificando que a cor B1 não apresentou diferenças quanto à variação de intensidade da luz. Para a cor C4 o método de polimerização influenciou nos resultados obtendo-se maiores valores de microdureza quando polimerizou-se com um aparelho que emitia luz convencional.

Nos estudos de Dunn et al. (1999) e Pereira (1999) as cores comparadas foram de diferentes matizes e saturações. Para o estudo de Pereira (1999) utilizou-se resina composta na cor A1 a qual apresenta matiz com pigmentos vermelho-marrom e para o estudo de Dunn et al. (1999) a cor B1 que apresenta pigmentos amarelos segundo a escala VITA. Estas cores, para ambos os estudos, foram comparadas com a cor C4 que é um matiz com pigmento cinza combinado com a maior saturação. Este fato pode ter afetado os resultados e o comportamento de cada cor em determinadas condições pelo fato de apresentarem diferentes coeficientes de transmissão e diferentes valores de translucidez e opacidade. (FERRACANE et al., 1986; HIRATA; AMPESSAN; LIU, 2001; KAWAGUCHI; FUKUSHIMA; MIYAZAKI, 1994; MIYAGAWA; POWERS; O'BRIEN, 1981; SAKAGUCHI; DOUGLAS; PETERS, 1992).

Para Hirata; Ampessan e Liu (2001) as resinas compostas com maior quantidade de pigmento branco são mais opacas que as resinas com pigmentos cinza, os quais têm uma maior tendência à translucidez. Este fato poderia explicar a diferença de comportamento encontrado nos estudos citados anteriormente.

A literatura evidencia que o tipo de fonte de luz influencia no processo de polimerização em termos de intensidade de luz e comprimento de onda da luz emitida. (KILIAM, 1979; KURACHI, et al. 2000; NOMOTO; UCHIDA; HIRASAWA, 1994; NOMOTO, 1997; PEREIRA et al. 1997; PEREIRA, 1999; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2001).

Neste estudo avaliou-se um aparelho de luz halógena e um à base de LEDs. O aparelho mais freqüentemente utilizado na atualidade é o aparelho de luz halógena o qual permite uma adequada polimerização das resinas compostas em

seus múltiplos usos. O aparelho à base de LEDs tem sido lançado como uma opção de polimerização e vem sendo pesquisado por dez anos aproximadamente, desde a fabricação de um LED azul em 1995. (MILLS; UHL; JANDT, 2002).

O princípio dos aparelhos de luz halógena está baseado na produção de luz através de uma lâmpada que emite comprimentos de onda no espectro de luz visível e como resultado a luz é branca. A faixa de comprimento de onda é ampla, apresentando comprimentos de onda desnecessários para a polimerização de resinas compostas, além de gerar calor durante a polimerização podendo provocar danos pulpares. (KNĚZEVIĆ et al., 2001). Para conseguir luz azul entre 400 e 500 nm um filtro é incorporado de maneira que o aparelho não emita luz indesejada. (LUTZ; KREJI; FRISCHKNECHT, 1992; MIYASAKI et al., 1998).

As limitações dos aparelhos de luz halógena são diversas e incentivaram novas pesquisas para tentar conhecer e otimizar sua efetividade e minimizar suas desvantagens. Entre estas podemos citar: vida útil reduzida, calculada aproximadamente entre 40 e 100 horas e degradação do filtro pela proximidade deste com a lâmpada que gera calor constante. A degradação da lâmpada, bulbo, ponta ativa e sistema de ventilação ocorrem com o tempo de uso, o que resulta em uma diminuição da intensidade de luz prejudicando a adequada polimerização das resinas compostas especialmente em áreas mais profundas. (BENNETT; WATTS, 2004; KNĚZEVIĆ et al., 2001; LUTZ; KREJI; FRISCHKNECHT, 1992; MILLS; UHL; JANDT, 2002; MIYASAKI et al., 1998; PEREIRA, 1999; PEREIRA; PASCOTTO; CARNEIRO, 2003; VIEIRA et al., 1998). Por isso, a manutenção técnica dos aparelhos deve ser realizada cada 4 a 6 meses para descobrir algum problema nos aparelhos e garantir uma adequada polimerização. (HOTZ et al., 1989; LUTZ; KREJI; FRISCHKNECHT, 1992).

O estudo de Miyazaki et al. (1998) revela a importância da manutenção dos aparelhos de luz halógena. Os autores testaram os aparelhos no início da pesquisa e após a substituição do bulbo, filtro e guias de luz. A intensidade de luz do aparelho aumentou 36% quando foi substituído unicamente o bulbo. Quando foi trocado só o filtro a intensidade de luz aumentou 157,7% e 46,2% no caso da substituição da ponta ativa. Um aumento de 322% obteve-se quando os três componentes foram substituídos.

Pesquisadores como Fujibayashi et al. (1998); Mills; Jandt e Ashworth (1999) e Whitters (1999), foram os pioneiros a publicar trabalhos com o novo sistema à base de LEDs e evidenciaram suas vantagens potenciais como maior tempo de vida útil, maior resistência a impactos, menor consumo de energia, não precisam de filtro ou ventiladores pela natureza da luz o que resulta em aparelhos mais ergonômicos.

Os resultados mostrados nas Tabelas 9 e 14 evidenciaram que o tipo de fonte de luz utilizada seja halógena ou à base de LEDs, influenciaram nos valores de microdureza de todas as resinas compostas tanto para a superfície de topo quanto para a superfície de base. Os valores de microdureza proporcionados pelo aparelho de luz halógena foram maiores que os proporcionados pelo aparelho à base de LEDs independentemente da superfície analisada. Estes achados estão relacionados às características dos aparelhos as quais foram determinadas e ilustradas no Gráfico 4 e Tabela 5. Os resultados do espectro de absorção mostrados no Gráfico 4 confirmam que o aparelho à base de LEDs apresenta um espectro de emissão estreito com maior eficiência na emissão de luz azul (470 nm aproximadamente). Para o aparelho de luz halógena o pico de absorção foi de 490 nm. As diferenças encontradas para o intervalo de comprimento de onda entre os

aparelhos testados coincidem com os dados obtidos e publicados por outros pesquisadores. (BENNETT; WATTS, 2004; MILLS et al., 2002; NOMOTO, 1997).

Nomoto (1997) demonstrou a influência do comprimento de onda da luz emitida durante o processo de polimerização e concluiu que este afeta principalmente a etapa inicial da polimerização pela absorção da CQ. O efeito do comprimento de onda diminui com o aumento do tempo de exposição, sendo que o intervalo de comprimento de onda mais eficiente foi entre 450 e 490 nm.

O intervalo de comprimento de onda mais estreito para os aparelhos à base de LEDs reflete a diferença de funcionamento do aparelho de luz halógena. Os aparelhos à base de LEDs são semicondutores em estado sólido que produzem luz por eletroluminescência. A emissão de luz em um determinado comprimento de onda depende do material com que é fabricado o semicondutor. Para odontologia o material usado para fabricar LEDs é InGaN (Nítrito de Gálio) responsável pela produção de luz azul que é gerada sem a utilização de filtros. (BENNETT; WATTS, 2004; DELGADO et al., 2003; FUJUBAYASHI et al., 1998; SWIFT JR, 2001). O tempo de vida útil destes aparelhos está calculado aproximadamente em 10000 horas, não apresentam filtros nem sistemas de ventilação que estejam sujeitos à degradação podendo obter uma luz constante durante a vida útil do aparelho. O consumo de energia deste sistema é menor quando comparado aos aparelhos de luz halógena. (FRENTZEN; FOLL; BRAUN, 2001; LEONARD et al., 2002; MILLS; JANDT; ASHWORTH, 1999; MILLS; UHL; JANDT, 2002; PEREIRA et al., 2004).

Embora os aparelhos à base de LEDs apresentem um pico de emissão de luz aproximado ou coincidente com o pico de absorção da CQ, a intensidade de luz baixa influi diretamente na eficiência do aparelho. (DUNN; BUSH, 2002; KURACHI et al., 2000). Quando se utiliza baixa intensidade de luz, menor

número de fótons estarão disponíveis para reagir com os fotoiniciadores, como consequência, o número de radicais livres será reduzido limitando a quantidade de grupos de monômeros de metacrilatos que serão convertidos em polímeros. (PEUTZFELDT, 1994; RUEGGERBERG, 1999).

Os aparelhos testados nesta pesquisa diferem abruptamente nos valores de potência, consequentemente de intensidade de luz. O aparelho de luz halógena apresentou intensidade de luz de 780 mW/cm^2 e o aparelho à base de LEDs 304 mW/cm^2 , como apresentado na Tabela 5. A baixa intensidade de luz do aparelho de fotopolimerização à base de LEDs explicaria as menores médias de microdureza encontradas para este tipo de fonte de luz quando avaliado individualmente (Tabelas 7 e 12) ou em interação com os outros fatores, independentemente da superfície analisada (Tabelas 9 e 14).

Este achado, está em concordância com os estudos de Araújo; Araújo e Mendes (1996); Kilian (1979); Kurachi et al. (2000); Martins et al. (2002); Nomoto; Uchida e Hirasawa (1994); Pereira et al. (1997); Pereira (1999); Pereira; Porto e Mendes (2001); Price; Murphy e Derand (2000); Quance et al. (2001); Silva; Araújo e Francisconi (2002); Yap e Seneviratne (2001) onde demonstraram a influência direta da intensidade de luz com a qualidade de polimerização.

Kilian (1979) demonstrou que a profundidade de polimerização de uma resina composta depende da intensidade de luz incidente, pois constatou aumento dos valores de microdureza conforme o aumento da intensidade de luz. Os valores de microdureza aumentaram na superfície mais próxima à luz em relação ao fundo e com o maior tempo de armazenamento.

Nomoto; Uchida e Hirasawa (1994) relataram que quando a densidade de energia foi mantida constante (intensidade de luz vezes tempo de

exposição), houve resultados semelhantes de profundidade de polimerização e grau de conversão, e maior intensidade de luz exigiu menor tempo de exposição.

Pereira (1999) avaliou diversas intensidades de luz com relação à microdureza superficial e profundidade de polimerização. Os resultados mostraram que para todas as intensidades de luz houve redução dos valores de microdureza conforme o aumento da profundidade.

Fujibayashi et al. (1998) e Mills; Jandt e Ashworth (1999) encontraram melhores resultados com os aparelhos à base de LEDs do que com o aparelho de luz halógena mesmo quando a intensidade de luz foi semelhante ou menor.

Os resultados de Kurachi et al. (2000) quando avaliaram cinco LEDs experimentais com diferentes intensidades de luz que variaram entre 25 e 79 mW/cm², verificaram que para conseguir valores de microdureza Vickers comparáveis aos obtidos com um aparelho de luz halógena, foram necessários 120 segundos de exposição à luz. O aparelho à base de LEDs com maior intensidade de luz mostrou-se mais efetivo, independentemente da espessura do material e do tempo de exposição.

Um fator a ser levado em consideração é a contração de polimerização durante a conversão de monômeros em polímeros. A contração de polimerização pode ocasionar formação de fendas ou “gap” ou geração de estresse na interface dentina/restauração ocorrendo sensibilidade pós-operatória, manchamento das margens da resina composta, microinfiltração, recidiva de cárie, deflexão das cúspides do dente, fratura do esmalte ou microrrachaduras. (GARONE NETTO, 2003).

Quanto mais alta é a intensidade de luz a polimerização é mais rápida, e maior estresse é gerado pela contração de polimerização. Esta contração é inerente às resinas compostas e cuidados devem ser adotados para conseguir alta porcentagem de polimerização associado à baixa contração de polimerização. Assim, pequenos incrementos oblíquos, de no máximo 2 mm de espessura, devem ser inseridos em conjunto com intensidades entorno de 400 mW/cm² ou intensidade de luz progressiva onde a intensidade de luz inicial seja baixa e permita uma liberação do estresse para logo completar a polimerização maior intensidade de luz. (FRANCO; LOPES, 2003).

No presente estudo, a interação entre a cor e o tipo de fonte de luz promoveu efeitos significativos sobre os valores de microdureza da resina composta, pois o aumento das médias de microdureza ocorreu quando a cor A2 foi fotopolimerizada com o aparelho de luz halógena. Já quando a cor extraclara foi polimerizada com o aparelho à base de LEDs, obtiveram-se menores valores de microdureza (Tabelas 10 e 15).

Pesquisadores como Park; Chae e Rawls (1999); Peutzfeldt e Asmussen (1989); Rueggeberg (1999), afirmaram que algumas resinas compostas claras ou translúcidas não apresentam CQ na sua composição ou apresentam em menor quantidade. Esta alteração na presença ou na quantidade de CQ deve-se à cor amarela deste fotoiniciador, característica que interfere na cor final do material restaurador. Assim, limitações para obter cores translúcidas e extraclaras estão sendo superadas com a incorporação de novos fotoiniciadores como PPD ou Lucerina, este último tem a capacidade de perder completamente sua cor quando o material que o contém está polimerizado. Os novos fotoiniciadores apresentam um espectro de absorção entre 400 e 450 nm.

Por esta razão Swiftt (2001) afirma que os aparelhos à base de LEDs não atingem a polimerização de algumas resinas compostas claras e translúcidas.

Os resultados deste trabalho mostram que a cor afetou os valores de microdureza superficial sendo que, a cor extraclara de cada resina composta avaliada atingiu menores valores de microdureza.

Realizando uma análise mais detalhada sobre os resultados apresentados nesta pesquisa, observou-se que as resinas compostas de cores extraclaras obtiveram baixos valores de microdureza independente de serem polimerizadas com o aparelho de luz halógena ou à base de LEDs. Ou seja, o tipo de fonte de luz não altera exclusivamente os valores de microdureza das resinas compostas. Assim, a influência da interação entre cor e tipo de fonte de luz e a interação resina composta, cor e tipo de fonte de luz, estão evidenciadas nas Tabelas 10, 11, 15, 16 e nos Gráficos 5, 6, 7 e 8. Quando a resina composta na cor A2 foi polimerizada com o aparelho de luz halógena, esta apresentou maiores valores de microdureza que sua respectiva cor extraclara. Este fato foi evidenciado na superfície de topo e de base.

Segundo Arikawa et al. (2002) a transmitância de luz em resinas compostas escuras de diversas marcas comerciais (DG, YB, A3.5 e C3) foi menor quando comparada com resinas compostas de cores claras do mesmo material. Baseados nestes resultados os autores recomendaram ter cuidado em situações clínicas quando se utiliza cor de resinas compostas com baixo nível de transmitância de luz.

Sakaguchi; Douglas e Peters (1992) estudaram a contração de polimerização de resinas compostas em relação à intensidade de luz, cor, espessura do material e a distância da fonte de luz. Com relação à cor os autores agruparam as

cores em três grupos: claras, intermédias e escuras, sendo que no grupo de resinas claras estiveram incluídas as resinas denominadas nesta pesquisa como extraclaras. Os autores encontraram que as cores claras e as cores escuras apresentaram menor contração de polimerização, o que está relacionado à menor formação de cadeias de polímeros.

O fato de ter uma resina composta clara ou extremamente clara, como as cores de resinas compostas utilizadas neste estudo, não sugere que estas sejam mais translúcidas ou tenham maior transmitância. Na verdade, o aumento de pigmentos brancos faz com que estas cores se tornem mais opacas, fato que deve ser considerado posteriormente em novos estudos.

Kawaguchi; Fukushima e Miyazaki (1994) tentaram explicar estes fatos por duas possíveis teorias. O tamanho das partículas poderia causar uma complexa dispersão da luz e conseqüentemente diminuição do coeficiente de transmissão. Outra possível explicação é a diferença no índice de refração entre as partículas e a matriz da resina composta. Frequentemente as partículas de resina composta estão constituídas por diferentes tipos de vidro-silicato (Alumínio, Bário e Zircônio) em variadas proporções tanto em peso quanto em volume. O índice de refração pode variar em relação à composição. A dispersão da luz em resinas compostas pode incrementar em relação direta com o índice de refração entre as partículas e a matriz. Como resultado, a dispersão da luz pode afetar o potencial de fotopolimerização e aparência das restaurações com resina composta.

Pereira et al. (2004) testaram um aparelho à base de LEDs com intensidade de luz baixa e um aparelho de luz halógena através do teste de microdureza Vickers. Os autores encontraram que o aparelho de luz halógena proporcionou maiores valores de microdureza do que o aparelho à base de LEDs

para a resina composta P60 (3M-ESPE). A resina composta Charisma® cor A2 não apresentou diferenças estatísticas entre os valores obtidos com os dois aparelhos na superfície de topo e de base. Semelhantes resultados foram encontrados neste estudo para a resina composta Charisma® na cor A2. (Tabelas 11 e 16).

Quando foi avaliada a profundidade de polimerização e comparados os valores da superfície de topo e de base observou-se que todos os grupos apresentaram diferenças significantes, sendo que a superfície de topo apresentou os maiores valores de microdureza independentemente da resina composta, cor ou tipo de fonte de luz utilizado (Tabela 17). Estes resultados são concordantes com os resultados das pesquisas desenvolvidas por Arikawa et al. (2002); Hansen e Asmussen (1993); Knězević et al., (2001); Pereira (1999); Pereira; Porto e Mendes (2001); Rastelli (2002); Ribeiro et al. (2003) e Tsai; Meyers e Walsh (2004) fato que está diretamente relacionado com a intensidade de luz incidente. A superfície de topo está em contato direto com a ponta ativa do aparelho fotopolimerizador, o que resulta em quantidade de luz mais efetiva ou maior número de fótons disponíveis para a ativação da CQ ou outro tipo de fotoiniciador. A superfície de base se encontra afastada do extremo da ponta ativa do aparelho fotopolimerizador e por fenômenos de absorção e dispersão da luz a intensidade foi atenuada e a quantidade de fótons capazes de interagir com o fotoiniciador foi menor, resultando em baixa conversão de monômeros em polímeros refletindo-se em menores valores de microdureza desta superfície.

Atingir valores proporcionais de microdureza, entre as superfícies de topo e de base é importante porque determina o desempenho dos aparelhos de fotopolimerização. Segundo Lutz; Kreji e Frischknecht (1992) o critério de porcentagem de profundidade de polimerização avalia o rendimento ou desempenho

dos aparelhos de fotopolimerização e está determinado pela relação de microdureza entre as superfícies (superfície inferior/superfície superior X 100). Este critério considera como valor mínimo aceitável ou polimerização completa no fundo do material, proporções maiores ou iguais a 80% da microdureza obtida na superfície próxima à ponta ativa. Esta proporção foi determinada para espessuras de 2 mm de resina composta quando polimerizada por 40 segundos a uma distância de 1 mm da ponta ativa até o material.

Esta mesma proporção foi utilizada para determinar o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores por Dunn e Bush (2002); Leonard et al. (2002) e Yap e Seneviratne (2001).

Os resultados apresentados na Tabela 22 e ilustrados no Gráfico 9 mostram que 12 dos 16 grupos testados cumpriram com esta proporção mostrando porcentagens acima de 80%. A resina composta Tetric® Ceram na cor XL independentemente se foi polimerizada com o aparelho de luz halógena ou aparelho à base de LEDs (G3 e G4) e a resina composta Charisma® cores A2 e SL quando fotopolimerizadas com o aparelho à base de LEDs (G10 e G12) atingiram valores inferiores a 80%.

Estes resultados demonstram que a cor XL da resina composta Tetric® Ceram quando fotopolimerizada com as duas fontes de luz testadas e a resina composta Charisma® quando fotopolimerizada com o aparelho à base de LEDs independentemente da cor, necessitaria de maior tempo para conseguir efetividade de polimerização.

No estudo realizado por Leonard et al. (2002) e Yap e Seneviratne (2001), esta proporção permitiu avaliar de maneira simples a eficiência dos aparelhos de fotopolimerização utilizados. Entretanto, concordando com as

afirmações de Dunn e Bush (2002) se fosse relatada a porcentagem de profundidade de polimerização isoladamente sem levar em consideração os valores de microdureza isto poderia gerar erros no momento da interpretação dos resultados.

Os resultados da Tabela 18 evidenciam que a resina composta Esthet X cor A2 polimerizada com o aparelho de luz halógena e à base de LEDs (G13 e G14) tiveram porcentagens de profundidade de polimerização de 84,83% e 84,74% respectivamente. (Tabela 18). Estes valores são superiores ao mínimo permitido para a porcentagem de profundidade de polimerização. ($\geq 80\%$). Segundo Leonard et al. (2002); Lutz; Kreji e Frischknecht (1992) e Yap e Seneviratne (2001) com os valores obtidos para G13 e G14 podemos considerar que os dois aparelhos de fotopolimerização testados foram eficientes para polimerizar a resina composta Esthet X cor A2.

Os valores de microdureza de G13 e G14, para a superfície de topo e de base, estão descritos na Tabela 6. Quando foi realizado o contraste de médias entre estes valores para cada superfície (Tabelas 11 e 16) houve diferença entre estes grupos sendo que, o aparelho de luz halógena proporcionou maiores valores de microdureza do que o aparelho à base de LEDs para a resina composta Esthet X cor A2.

Se o valor de microdureza superficial é baixo na superfície de base e é relacionado com um valor da superfície de topo baixo e próximo ao anterior, a porcentagem poderá resultar em um valor superior a 80% o que sugere uma aceitável porcentagem de profundidade de polimerização. Este resultado mascara os baixos valores de microdureza obtidos por diferentes aparelhos. Este critério avaliado isoladamente não é o melhor para determinar a eficiência de um aparelho

ou adequada polimerização. Sempre deve estar acompanhado pelos valores de microdureza das superfícies para evitar erros na interpretação dos resultados.

De modo geral, a microdureza superficial e a profundidade de polimerização de uma resina composta podem ser influenciadas por inúmeros fatores. Nesta pesquisa, a resina composta, a cor e o tipo de fonte de luz foram fatores que influenciaram nos resultados e devem ser considerados na prática clínica. Estudos posteriores devem ser realizados para determinar valores adequados de espessura de resina composta de cores extraclaras ou tempos de exposição que sejam clinicamente aceitáveis para atingir valores semelhantes aos obtidos com a cor A2.

Raciocínio semelhante deve ser seguido para os aparelhos à base de LEDs pelo fato de proporcionarem valores inferiores de microdureza quando comparados aos aparelhos de luz halógena. No entanto, estes valores estão relacionados à baixa intensidade de luz emitida por esses aparelhos. Atualmente pesquisas já estão sendo realizadas para melhorar o desempenho clínico desses aparelhos para que os mesmos possam ser utilizados nos consultórios de forma rotineira e efetiva.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nas condições estabelecidas na metodologia empregada, pôde-se concluir que:

- a) a resina composta Filtek™ Z250 apresentou os maiores valores de microdureza independentemente da cor ou do tipo de fonte de luz utilizada;
- b) a cor influenciou nos resultados de microdureza para todas as resinas compostas testadas, pois a cor extraclara obteve os menores valores de microdureza independente da fonte de luz utilizada;
- c) a fonte de luz halógena proporcionou os maiores valores de microdureza;
- d) a superfície de topo atingiu maiores valores de microdureza do que a superfície de base;
- e) o intervalo de comprimento de onda do aparelho à base de LEDs é mais estreito que o intervalo do aparelho de luz halógena;
- f) o aparelho de luz halógena apresentou maior intensidade de luz que o aparelho à base de LEDs.
- g) A resina composta Tetric® Ceram cor XL atingiu porcentagem de polimerização inferior a 80%, independentemente do tipo de fonte utilizada;
- h) as cores A2 e XL da resina composta Charisma® não obtiveram porcentagens de profundidade de polimerização acima de 80% quando fotopolimerizada com o aparelho à base de LEDs.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. F. et al. Avaliação da capacidade de polimerização de um novo dispositivo à base de LED à bateria. **JADA-Brasil**, v. 4, p. 373-377, nov./dez. 2001.
- ARAÚJO, R. M.; ARAÚJO, M. A. M.; MENDES, A. J. D. Influência da intensidade de luz de fotopolimerizadores na infiltração marginal. **Revista da Associação Paulista de cirurgiões dentistas**, v. 50, n. 5, p. 408-413, set./out. 1996.
- ARIKAWA, H. et al. Mechanical properties of Light-cured composite resins cured through filters that simulate enamel. **Dental Materials Journal**, v. 21, n.2, p. 147-155, 2002.
- ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A. Influence of selected of components on crosslink density in polymer structures. **European Journal of Oral Science**, v. 108, n. 4, p. 282-285, 2001.
- BENNET, A. B.; WATTS, W. Performance of two blue light-emitting-diode dental light curing units with distance and irradiation-time. **Dental Materials**, v. 20, n. 1, p. 72-79, 2004.
- CARREIRA, A.; VIEIRA, D.; MACEDO, M. R. Estudo sobre a variação de temperatura gerada pelos fotopolimerizadores. Uma comparação entre a luz halógena e LED. **JADA-Brasil**, v. 5, n. 5, p. 381-384, set./out. 2002.
- CARREIRA, A.; VIEIRA, D. Profundidade de polimerização e grau de pigmentação de uma resina composta. **JADA-Brasil**, v. 5, n. 1, p. 245-251, jan./fev. 2002.
- CONSANNI, S. et al. Efeito dos métodos de fotoativação e de inserção sobre a dureza de resinas compostas. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 16, n. 4, dez. 2002. Disponível em: http://www.scielo.br.php?script=sci_arttext&pid=S1517-74912002000400013&1r. Acesso em 6 ago. 2003.
- DAVIS, L. G. et al. Optical hazards of blue light curing units: preliminary results. **British Dental Journal**, v. 19, p. 259-262, Oct. 1985.
- DELGADO, C. L. et al. Efeito de diferentes sistemas de fotopolimerização na microdureza de uma resina composta "bleach shade". **JBD-Revista Iberoamericana de Odontologia, Estética e Dentística**, v. 2, n. 8, p. 348-357, out./dez. 2003.
- DUNN, W. J.; BUSH, A. C. Uma comparação da polimerização de resinas compostas através de aparelhos com LEDs (Luz emitida por diodo) e aparelhos com luz halógena. **JADA-Brasil**, v. 5, n. 3, p. 142-148, maio/jun. 2002.

DUNN, J. R. et al. Composite depth of cure using 3 curing modes, standard, médium and exponential. **Journal Dental Research**, v. 78, p. 396, 1999. (Abstract 2321).

DENTSPLY. **Esthet X**. Restaurador micro matriz. Encarte técnico. [s.l.]. [2003]. 3p.

FAN, P. L. et al. Intensidade da luz polimerizadora e profundidade de polimerização de resinas compostas testadas de acordo com os padrões internacionais. **JADA-Brasil**, v. 5, n. 4, p. 199-204, jul./ago. 2002.

FERRACANE, J. L. et al. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. **Dental Materials**, v. 2, p. 80-84, 1986.

FRANCO, E. B.; LOPES, L. G. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. **Biodonto**, v. 1, n. 2, p. 11-59, mar./abr. 2003.

FRENTZEN, M.; FÖLL, V.; BRAUN, A. Photopolymerization of composite resin using LED technology. **Journal Oral Laser Applications**, v. 1, p. 189-194, 2001.

FUJIBAYASHI, K. et al. Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. **Dentistry in Japan**, v. 34, p. 49-53, Mar. 1998.

GARONE NETTO, N. Introdução à Dentística Restauradora. **Editora Livraria Santos**, 2003

HANSEN, E. K.; ASMUSSEN, E. Correlation between depth cure and surface hardness of a light-activated resin. **Scandinavian Journal Dental Research**, v. 22, n. 3, p. 62-64, 1993.

HERAEUS KULZER. **Charisma®**: Scientific documentation. [s.l.]. 2002. 46p.

HIRATA, R.; AMPESSAN, R. L.; LIU, J. Reconstrução de dentes anteriores com resinas compostas – Uma sequência de escolha e aplicação de resinas. **Jornal Brasileiro de Clínica & Estética em Odontologia**, v. 5, n. 25, p. 15-25 jan./fev. 2001.

HOTZ, P. R. et al. Durchhärtungsleitung von polymerisationslampen für kompositmaterialien. **Schweiz Monatsschr Zahnmed**, v. 99, p. 1122-6, 1989.

IVOCLAR VIVADENT. **Tetric® Ceram**: Research and development. **Ivoclar Vivadent**. Documento científico, Local, 2002.

JANDT, K. D. et al. Depth cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). **Dental Materials**, v. 16, n. 1, p. 41-47, 2000.

KAWAGUCHI, M.; FUKUSHIMA, T.; MIYAZAKI, K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. **Journal Dental Research**, v. 73, n. 2, p. 516-521, Feb. 1994.

KILIAN, R.J. Visible light cured composited: dependence of cure on light intensity. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR DENTAL RESEARCH, New Orleans, 1979. Program and abstracts of papers. **Journal Dental Research**, v. 58, p. 243, 1979. (Abstract 603).

KNĚŽEVIĆ, A. et al. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 28, n. 6, p. 586-591, Jun. 2001.

KURACHI, C. et al. Hardness evaluation of dental composite polymerized with experimental LED-based devices. **Dental Materials**, v. 17, n. 4, p. 309-315, July. 2000.

LEONARD, D. L. et al. Polymerization efficiency of LED Curing Lights. **Journal of Esthetic Restorative Dentistry**, v. 14, n. 5, p. 286-295, 2002.

LUTZ, F.; KREJI, I.; FRISCHKNECHT, A. Lichtpolymerisationsgeräte. **Schweiz Monatsschr Zahnmed**, v. 102, n.5, p. 565-572, 1992.

MARTINS, F. et al. Microdureza de resina em função da cor luz halógena. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 246-250, jul./set. 2002.

MILLS, R.; JANDT; ASHWORTH, S. H. Dental composite depth of cure with halogen and light emitting diode technology. **British Dental Journal**, v. 186, n. 8, p. 388-391, Apr. 1999.

MILLS, R. W.; UHL, A.; JANDT, K. D. Optical power outputs, spectra and dental composite depths of cure, obtained with blue light emitting diode (LED) and halogen light curing units (LCUs). **British Dental Journal**, v. 192, n. 8, p. 459-463, Oct. 2002.

MILLS, R. et al. High power light emitting diode (LED) arrays versus halogen light polymerization of oral biomaterials: Barcol hardness, compressive strength and radiometric properties. **Biomaterials**, v. 23, n. 14, p. 2955-2963, Jul. 2002.

MIYAGAWA, Y.; POWERS, J.M.; O'BRIEN, W. J. Optical properties of direct restorative materials. **Journal Dental Research**, v. 60, n. 5, p. 890-894, May. 1981.

MIYAZAKI, M. et al. Evaluation of curing lights used in private dental offices. **Operative Dentistry**, v. 23, n. 2, p. 50-54, 1998.

NOMOTO, R. Effect of light wavelenth on polimerization of light-cured resins. **Dental Materials Journal**, v.16, n. 1, p. 60-73, 1997.

NOMOTO, R.; UCHIDA, K.; HIRASAWA, T. Effect of light of polymerization of light-cured composite resins. **Dental Materials Journal**, v.13, n. 2, p. 198-205, 1994.

O DIODO. In: **ELECTÔNICA passo a passo**. São Paulo: Abril cultural, 1984. v. 7, v. 8.

PARAVINA, R. D.; ONTIVEROS, J. C.; POWERS, J. M. Curing-dependent changes in color and translucency parameter of composite bleach shades. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 14, p. 158-166, 2002.

PARK, Y. J.; CHAE, K. H.; RAWLS, H. R. Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. **Dental Materials**, v. 15, n. 2, p. 120-127, 1999.

PEREIRA, S. K. et al. Intensidade de luz e profundidade de polimerização de aparelhos fotopolimerizadores. **Revista da Associação Paulista de cirurgiões dentistas**, v. 51, n. 3, p. 257-260, maio/jun. 1997.

PEREIRA, S. K. **Resina composta fotopolimerizável. Avaliação da dureza superficial em função de: cor, tempo de exposição, intensidade de luz e profundidade do material**. 1999. 216f. Tese (Doutorado em Dentística Restauradora) Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999.

PEREIRA, S. K.; PORTO, C. L.; MENDES, A. J. D. Efeitos de diferentes sistemas de fotopolimerização na dureza superficial da resina composta. **Jornal Brasileiro de Clínica & Estética em Odontologia**, v. 5, n. 26, p. 156-161, mar./abr. 2001.

PEREIRA, S. K.; PASCOTTO, R. C.; CARNEIRO, F. P. Avaliação dos aparelhos fotopolimerizadores em clínicas odontológicas. **Jornal Brasileiro de Dentística & Estética**, v. 2, n. 5, p. 29-35, jan./mar. 2003.

PEREIRA, S. K. et al. Novas fontes de polimerização. Efeito da luz halógena e LEDs na microdureza de resinas compostas. **Revista Gaúcha de Odontologia**, v. 52, n. 1, p. 7-12, jan./mar. 2004.

PEUTZFELDT, A. Correlation between recordings obtained with a light-intensity tester and degree of conversion of a light-curing resin. **Scandinavian Journal of Dental Research**, v. 102, p. 73 – 75, 1994.

PEUTZFELDT, A.; ASMUSSEN, E. Hardness of restorative resins: effect of camphorquinone, amine, and inhibitor. **Acta Odontológica Scandinava**, v. 47, p. 230-231, 1989.

POULOS, J. G.; STYNER, D. L. Lâmpadas de polimerização: alterações no rendimento da intensidade com o tempo de trabalho. **Journal de Clínica em Odontologia**, v. 7, n. 7, p. 47-53, 1999/2000.

PRICE, R. B. T.; MURPHY, D. G.; DÉRAND, T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. **Quintessence International**, v. 31, p. 659-667, 2000.

QUANCE, S. C. et al. Effect of exposure intensity and post-cure temperature storage on hardness of contemporary photo-activated composites. **Journal of Dentistry**, v. 29, p. 553-560, 2001.

RASTELLI, A. N. S. **Avaliação da profundidade de polimerização de uma resina composta, pela técnica trans-dental, utilizando-se três diferentes fontes de luz: halógena, laser de argônio e LEDs.** 2002. 186f. Dissertação (Mestrado em Dentística Restauradora) – Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2002.

RIBEIRO, J. P. F. et al. Avaliação da microdureza Vickers de um compósito odontológico utilizando aparelho halógeno e à base de LEDs. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 17, supl. 2 (Anais da 20ª Reunião Anual da SBPqO), p. 185, 2003.

RUEGGEBERG, F. Contemporary Issues in photocuring. **Compendium of Continuing Education in Dentistry**, v. 20, supl. 25, p. 4-15, Nov. 1999.

SAKAGUCHI, R. L.; DOUGLAS, W. H.; PETERS, M. C. R. B. Curing Light performance and polymerization of composite restorative materials. **Journal Dentistry**, v. 20, p. 183-188, 1992.

SEMICONDUCTORES. In: **Radiotécnico e TV (P&B) e a cores.** Santa Cruz do Sul – RS: Instituto Padre Réus, [199-]. n. 4.

SANTOS, L. A. et al. Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 65-70, jan./mar. 2000.

SILVA, E. V.; ARAÚJO, P. A.; FRANCISCONI, P. A. S. Adaptação marginal e dureza de métodos de fotoativação: avaliação da adaptação com moldes de elastômeros. **Revista FOB**, v. 10, n. 1, p. 7-16, jan./mar. 2002.

SWIFT JR, E.J. Visible Light-Curing. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 13, n. 1, p. 16-17, 2001.

TESHIMA, W. et al. ESR study of camphorquinone/amine photoinitiator systems using blue light-emitting diodes. **Biomaterials**, v. 24, n. 12, p. 2097-2103, 2003.

3M-ESPE. **ELIPAR™ 2500 Halogen Curing Light**: Technical Product Profile. Minnesota, 2003.

3M-ESPE. **ELIPAR® FreeLight LED Curing Light**: Technical Product Profile. Minnesota, 2001.

3M-ESPE. **FILTEK™ Z250**: Restaurador Universal para dentes anteriores e posteriores. Minnesota, 1999.

TSAI, P. C. L.; MEYERS, I. A.; WALSH, L. J. Depth o cure and surface microhardness of compisite resin cured with blue LED curing lights. **Dental materials**, v. 20, n. 4, p. 364-369, 2004.

TURBINO, M. L. et al. Photopolymerized resins: surface hardness variation in relation to time of polymerization and setting. **Brazilian Dental Journal**, v. 3, n.2, p.87-94, 1992.

UHL, A.; MILLS, R. W.; JANDT, K. D. Photoinitiator dependent composite depth of cure and Knoop hardness with halogen and LED light curing units. **Dental Materials**, v. 24, n. 10, p. 1787-1795, May. 2003.

UHL, A.; SIGUSH, B. W.; JANDT, K. D. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. **Dental Materials**, v. 20, n. 1, p. 80-87, Jan. 2004.

VIEIRA, G. F. et al. Análise da irradiação de diversos aparelhos fotopolimerizadores. **Revista Odontologia da Universidade de São Paulo**, v. 12, n. 4, p. 395-399, out./dez. 1998.

VINHA, D., COELHO, M. T., MAIA CAMPOS, G. Eficácia de alguns aparelhos geradores de luz visível na polimerização de resinas compostas. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 47, n. 4, p. 10-14, 1990.

WANG, L. et al. Mechanical proprieties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory test. **Journal of Applied Oral Sciences**, v. 11, n. 3, p. 162-167, 2003.

WHITTERS, C. J. Curing of dental composites by use of InGaN light-emitting diodes. **Optics Letters**, v. 24, n.1, p. 67-68, Jan. 1999.

YAP, A. U. J; SENEVIRATNE, C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. **Operative Dentistry**, v. 26, n. 5, p. 460-466, Sept./Oct. 2001.

YEARN, J.A. Factors affecting cure of visible light activated composites. **International Dental Journal**, v. 35, n. 3, p. 218-225, 1985.

GLOSSÁRIO

Absorção	Processo de captura da luz quando atravessa um corpo.
Conversão de polimerização	Proporção de ligações duplas de monômeros que passam a formar cadeias de polímeros.
Dispersão	Processo de separação dos comprimentos de onda que compõem uma luz policromática (branca) ao passarem através de um corpo.
Fóton	É a menor unidade que forma a energia (ou radiação) eletromagnética. Os fótons são partículas com massa zero e sem carga elétrica. É importante notar que o fóton não está associado apenas à região do visível do espectro eletromagnético.
Índice de refração	Razão entre a rapidez de propagação da luz no vácuo e a rapidez de propagação da luz num determinado material.
Opaco	Termo aplicado a materiais que não refletem nem emitem luz, impedindo conseqüentemente que a luz os atravesse.
Potência	Trabalho realizado ou transformação de energia, dividido pelo tempo; medida em Watts.
Reflexão	Mudança na direção da luz após bater em uma superfície.
Refração	Fenômeno luminoso onde a direção da luz é desviada após bater em uma superfície.
Teoria Kubelka-Mung	Teoria que descreve as propriedades ópticas da superfície de um material para espessuras finitas e constantes.
Transmitância	Termo utilizado para referirmos à percentagem de luz que passa através de um corpo.

APÊNDICE A:
Dados originais de microdureza Vickers

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 1	T	31,70	46,30	36,00	33,70	36,93
	B	33,80	29,80	33,10	29,80	31,63
	T	41,40	47,10	44,10	36,20	42,20
	B	36,80	32,80	25,00	30,80	31,35
	T	33,00	43,90	35,80	33,10	36,45
	B	30,70	29,70	29,00	33,70	30,78
	T	30,50	29,30	31,90	29,70	30,35
	B	28,70	28,10	33,20	26,30	29,08
	T	31,10	29,40	30,90	31,70	30,78
	B	29,20	26,10	27,10	27,80	27,55
	T	30,30	30,20	28,90	33,10	30,63
	B	28,00	27,10	28,10	28,20	27,85
	T	34,60	33,70	32,30	32,50	33,28
	B	30,10	29,60	26,00	31,30	29,25
	T	32,00	36,00	26,70	32,60	31,83
	B	29,90	26,10	29,70	30,60	29,08
	T	30,80	31,80	34,20	31,60	32,10
	B	26,50	28,50	26,90	28,40	27,58
	T	31,60	33,20	33,70	31,30	32,45
	B	28,00	26,30	26,90	27,80	27,25
GRUPO 2	T	31,50	28,90	31,00	30,70	30,53
	B	23,60	21,50	23,90	21,10	22,53
	T	29,70	32,30	29,20	29,90	30,28
	B	30,20	29,00	27,80	27,80	28,70
	T	29,70	30,10	31,70	32,10	30,90
	B	26,30	27,80	23,70	21,60	24,85
	T	30,20	29,00	35,50	31,50	31,55
	B	27,30	24,40	25,00	25,80	25,63
	T	29,50	31,10	30,90	31,50	30,75
	B	24,90	26,80	25,60	26,70	26,00
	T	26,90	24,90	27,10	22,30	25,30
	B	21,90	19,80	20,90	21,60	21,05
	T	22,90	24,90	23,80	24,50	24,03
	B	16,70	16,30	12,80	20,50	16,58
	T	23,30	21,70	20,60	24,50	22,53
	B	25,40	22,70	19,50	20,30	21,98
	T	23,80	27,30	22,60	25,40	24,78
	B	16,10	25,30	23,80	19,80	21,25
	T	31,60	31,70	31,20	30,40	31,23
	B	22,80	22,20	21,00	25,30	22,83

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 3	T	29,90	31,00	32,00	29,30	30,55
	B	18,50	18,80	19,30	17,60	18,55
	T	33,60	35,90	30,80	31,50	32,95
	B	18,30	17,60	19,60	16,50	18,00
	T	30,10	31,60	29,40	33,60	31,18
	B	18,80	20,10	18,20	20,20	19,33
	T	28,90	29,40	30,90	29,40	29,65
	B	21,30	16,10	17,30	17,20	17,98
	T	28,90	31,20	33,90	30,70	31,18
	B	19,30	18,60	18,50	21,30	19,43
	T	32,00	30,10	31,90	29,20	30,80
	B	20,20	17,70	17,30	16,60	17,95
	T	31,20	30,90	35,30	27,60	31,25
	B	19,90	18,40	18,80	16,60	18,43
	T	29,30	31,20	29,00	30,70	30,05
	B	15,60	17,50	21,30	16,20	17,65
	T	32,10	26,90	31,50	28,90	29,85
	B	17,90	18,90	16,70	20,90	18,60
	T	28,80	31,10	31,60	29,90	30,35
	B	17,10	20,70	20,50	21,10	19,85
GRUPO 4	T	20,20	21,00	21,40	21,00	20,90
	B	9,50	9,30	8,60	11,20	9,65
	T	24,10	23,70	22,70	23,70	23,55
	B	12,00	13,10	12,90	9,90	11,98
	T	21,20	22,30	20,80	20,50	21,20
	B	13,70	14,30	14,90	14,10	14,25
	T	23,10	22,90	24,40	22,00	23,10
	B	15,20	13,60	13,50	11,50	13,45
	T	17,20	21,30	18,10	17,20	18,45
	B	10,90	10,10	10,40	10,30	10,43
	T	23,20	21,40	23,40	24,10	23,03
	B	15,10	14,20	13,00	13,60	13,98
	T	26,20	26,60	25,00	26,80	26,15
	B	21,10	17,80	19,00	16,00	18,48
	T	23,10	22,60	22,80	23,60	23,03
	B	12,20	10,50	9,90	10,90	10,88
	T	26,10	25,30	25,80	32,80	27,50
	B	9,00	15,00	13,00	14,20	12,80
	T	23,80	22,70	21,20	23,30	22,75
	B	9,20	14,60	12,50	12,50	12,20

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 5	T	68,80	65,40	69,40	64,20	66,95
	B	66,20	55,90	63,20	66,20	62,88
	T	66,60	62,00	64,20	60,30	63,28
	B	50,90	50,70	58,00	52,90	53,13
	T	75,90	68,00	66,80	62,20	68,23
	B	58,00	58,20	55,50	57,50	57,30
	T	73,30	62,20	64,70	65,00	66,30
	B	64,00	64,80	58,60	57,90	61,33
	T	73,90	80,40	87,70	83,60	81,40
	B	76,50	72,30	68,40	70,10	71,83
	T	56,30	62,70	80,40	69,00	67,10
	B	55,60	53,80	59,80	63,00	58,05
	T	60,90	63,70	61,90	68,40	63,73
	B	52,10	54,30	59,20	60,60	56,55
	T	69,40	61,10	75,40	76,70	70,65
	B	66,20	52,80	63,80	51,80	58,65
	T	67,50	65,50	63,50	71,30	66,95
	B	65,40	68,80	59,50	59,20	63,23
	T	66,60	65,40	61,70	65,40	64,78
	B	51,30	67,70	58,00	63,70	60,18
GRUPO 6	T	50,70	50,30	53,50	48,60	50,78
	B	46,80	44,30	44,90	47,30	45,83
	T	52,90	56,20	52,00	48,00	52,28
	B	44,90	45,40	44,60	45,40	45,08
	T	50,10	52,40	51,30	53,30	51,78
	B	44,50	48,60	42,40	44,00	44,88
	T	49,40	51,00	49,60	47,70	49,43
	B	52,10	50,30	46,00	43,20	47,90
	T	50,40	53,50	53,70	56,10	53,43
	B	50,30	48,10	49,60	52,80	50,20
	T	52,10	48,10	49,70	50,60	50,13
	B	46,40	51,10	45,00	46,00	47,13
	T	54,70	53,40	53,80	52,50	53,60
	B	47,40	44,60	45,60	44,10	45,43
	T	49,20	50,90	50,10	52,10	50,58
	B	45,50	45,70	43,10	41,70	44,00
	T	51,20	49,60	52,80	49,70	50,83
	B	48,10	46,40	46,70	46,60	46,95
	T	53,80	50,30	48,80	48,60	50,38
	B	43,10	45,00	42,10	44,10	43,58

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 7	T	59,80	64,80	53,80	56,50	58,73
	B	48,80	52,00	45,40	47,40	48,40
	T	55,80	49,40	49,50	58,90	53,40
	B	53,40	50,40	52,40	49,50	51,43
	T	64,00	58,60	58,90	61,90	60,85
	B	50,60	44,10	46,70	46,10	46,88
	T	70,70	67,00	62,00	58,90	64,65
	B	51,80	59,50	51,40	42,60	51,33
	T	48,60	47,40	54,60	53,10	50,93
	B	49,60	50,20	50,90	38,80	47,38
	T	62,30	78,10	63,20	79,00	70,65
	B	74,00	56,60	49,90	48,90	57,35
	T	68,80	75,20	69,00	73,30	71,58
	B	55,20	74,80	64,30	58,30	63,15
	T	75,60	71,90	75,90	71,10	73,63
	B	52,40	52,90	49,30	41,10	48,93
	T	83,80	69,70	67,70	83,60	76,20
	B	59,50	54,70	57,50	66,20	59,48
	T	57,30	60,00	64,70	59,20	60,30
	B	61,40	53,80	45,80	66,20	56,80
GRUPO 8	T	49,40	48,10	53,00	49,10	49,90
	B	45,00	44,50	45,90	43,90	44,83
	T	52,10	49,20	51,40	53,50	51,55
	B	46,40	45,00	44,00	47,80	45,80
	T	52,40	52,80	50,80	51,60	51,90
	B	46,00	49,90	47,80	46,40	47,53
	T	54,20	56,10	53,30	55,60	54,80
	B	45,30	46,40	50,70	51,60	48,50
	T	51,30	54,70	49,20	53,70	52,23
	B	47,30	46,30	44,80	46,90	46,33
	T	53,30	52,80	54,20	53,60	53,48
	B	44,20	46,40	47,20	45,50	45,83
	T	49,90	52,50	51,90	52,40	51,68
	B	43,20	47,50	48,80	46,00	46,38
	T	54,80	52,10	48,70	49,90	51,38
	B	45,30	46,20	49,10	44,30	46,23
	T	51,40	50,20	50,70	53,20	51,38
	B	46,80	48,50	45,50	47,60	47,10
	T	54,30	54,20	51,20	52,10	52,95
	B	47,30	46,30	42,70	46,60	45,73

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 9	T	37,10	38,40	36,20	39,30	37,75
	B	29,20	36,80	34,10	28,50	32,15
	T	36,70	37,20	34,00	35,40	35,83
	B	31,10	28,20	32,50	30,50	30,58
	T	30,80	37,80	36,80	38,90	36,08
	B	29,50	28,10	34,30	32,00	30,98
	T	30,30	30,60	31,00	36,70	32,15
	B	29,30	30,50	28,90	29,10	29,45
	T	35,70	31,90	38,90	39,10	36,40
	B	29,30	30,40	28,70	27,90	29,08
	T	40,0	41,0	32,3	29,6	35,73
	B	24,7	32,0	27,4	33,5	29,40
	T	33,8	36,7	34,4	35,7	35,15
	B	30,5	35,0	39,3	37,2	35,50
	T	35,3	40,4	36,0	39,8	37,88
	B	33,0	32,0	32,1	37,3	33,60
	T	43,0	43,8	43,5	39,4	42,43
	B	33,0	32,6	34,2	34,1	33,48
	T	31,9	33,8	38,0	34,4	34,53
	B	31,9	36,2	35,9	33,2	34,30
GRUPO 10	T	39,40	37,20	39,90	38,00	38,63
	B	32,70	32,60	30,10	31,40	31,70
	T	38,60	41,10	32,60	37,30	37,40
	B	33,80	31,80	31,50	32,20	32,33
	T	32,70	37,90	37,30	39,00	36,73
	B	28,30	30,20	30,90	30,40	29,95
	T	39,70	39,20	39,90	39,90	39,68
	B	28,40	28,20	31,60	29,20	29,35
	T	42,70	41,80	40,20	43,90	42,15
	B	24,90	20,20	26,50	30,40	25,50
	T	39,00	41,10	39,20	42,30	40,40
	B	28,40	27,40	29,00	26,80	27,90
	T	38,30	37,20	38,00	39,90	38,35
	B	28,50	29,90	27,10	28,30	28,45
	T	41,00	37,90	39,60	39,80	39,58
	B	26,50	31,20	30,60	28,40	29,18
	T	39,70	40,50	38,30	39,30	39,45
	B	30,60	30,90	31,50	29,70	30,68
	T	38,60	37,80	38,80	39,20	38,60
	B	28,40	31,60	27,80	29,90	29,43

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 11	T	30,50	32,50	30,70	32,50	31,55
	B	29,20	31,70	27,80	31,30	30,00
	T	31,90	31,30	33,10	31,80	32,03
	B	33,30	29,30	33,70	27,90	31,05
	T	35,50	29,70	29,90	35,40	32,63
	B	24,10	25,70	31,00	25,50	26,58
	T	32,40	32,20	32,80	29,90	31,83
	B	28,40	30,00	29,90	31,20	29,88
	T	33,40	35,40	33,00	30,40	33,05
	B	30,20	30,00	25,30	24,00	27,38
	T	30,71	31,58	29,67	32,03	31,00
	B	26,68	28,34	27,72	28,91	27,91
	T	29,99	30,78	30,37	29,95	30,27
	B	29,27	30,34	30,14	29,02	29,69
	T	31,82	31,37	30,21	30,09	31,13
	B	28,83	27,99	29,17	28,97	28,74
	T	32,78	32,14	32,96	32,95	32,71
	B	29,33	30,88	28,68	29,05	29,49
	T	31,32	33,47	32,27	31,48	32,14
	B	31,02	29,78	30,63	30,29	30,43
GRUPO 12	T	34,00	34,00	32,30	33,30	33,40
	B	25,80	25,50	24,70	25,40	25,35
	T	29,80	31,40	31,20	31,10	30,88
	B	25,70	25,70	25,20	24,80	25,35
	T	32,00	31,50	31,00	32,10	31,65
	B	24,80	22,70	21,40	24,50	23,35
	T	30,80	28,90	29,00	28,60	29,33
	B	20,10	15,30	23,20	16,40	18,75
	T	35,50	28,50	28,90	23,70	29,15
	B	25,20	22,70	20,80	23,30	23,00
	T	32,00	32,10	31,50	30,60	31,55
	B	24,70	26,00	26,60	27,00	26,08
	T	32,00	30,30	29,80	29,00	30,28
	B	22,50	22,90	23,50	23,00	22,98
	T	30,00	33,30	30,70	33,30	31,83
	B	21,60	20,70	24,10	25,00	22,85
	T	28,10	29,00	28,90	29,90	28,98
	B	25,00	23,10	23,10	22,60	23,45
	T	31,20	31,20	32,50	31,30	31,55
	B	25,50	23,80	22,30	24,10	23,93

Apêndice A

(continua)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 13	T	68,20	59,50	48,00	64,70	62,10
	B	57,80	38,80	40,50	34,00	39,65
	T	40,40	41,50	33,10	45,30	40,95
	B	38,60	37,80	38,60	42,30	38,60
	T	35,40	56,80	55,20	37,70	46,45
	B	33,70	34,00	43,40	39,40	36,70
	T	39,30	39,60	45,60	39,20	39,45
	B	39,40	37,00	45,30	41,80	40,60
	T	54,00	40,50	38,30	41,80	41,15
	B	39,10	31,60	42,80	38,20	38,65
	T	47,70	57,3	64,8	53,8	55,55
	B	43,30	44,2	41,4	37,1	42,35
	T	44,3	46,7	49,7	45,6	46,15
	B	37,6	41,5	39,0	36,2	38,30
	T	42,7	47,6	47,7	51,5	47,65
	B	34,7	43,3	39,5	35,3	37,40
	T	42,7	42,3	35,3	35,1	38,80
	B	37,9	38,9	34,8	40,7	38,40
	T	42,5	39,7	51,4	40,5	41,50
	B	32,9	28,6	45,4	37,4	35,15
GRUPO 14	T	35,30	37,20	42,80	36,10	37,85
	B	30,20	28,50	30,60	28,70	29,50
	T	39,50	41,30	35,70	39,20	38,93
	B	34,30	37,30	32,50	31,90	34,00
	T	34,20	33,80	35,70	37,00	35,18
	B	28,50	29,90	30,60	32,00	30,25
	T	39,30	38,20	39,10	39,10	38,93
	B	33,30	32,60	32,70	31,70	32,58
	T	35,50	37,50	38,70	33,30	36,25
	B	31,90	31,60	34,60	30,50	32,15
	T	36,20	38,50	38,10	37,10	37,48
	B	34,70	31,90	31,60	30,90	32,28
	T	40,80	37,40	40,60	37,10	38,98
	B	38,90	33,50	36,10	34,50	35,75
	T	32,90	35,70	37,90	30,20	34,18
	B	27,20	26,70	27,80	28,00	27,43
	T	37,50	35,50	35,40	38,50	36,73
	B	28,70	32,80	27,40	27,60	29,13
	T	35,30	41,40	38,00	38,50	38,30
	B	35,10	31,20	32,50	32,40	32,80

Apêndice A

(conclusão)

		Quadrantes				
Superfícies		1	2	3	4	Média
GRUPO 15	T	41,10	36,50	39,40	38,20	38,80
	B	34,30	33,10	34,60	34,00	34,00
	T	38,60	36,90	35,80	37,40	37,18
	B	35,10	35,70	34,20	33,90	34,73
	T	35,70	39,00	36,20	37,20	37,03
	B	29,50	33,30	34,20	32,00	32,25
	T	31,30	26,60	35,70	31,90	31,38
	B	33,10	35,10	32,40	34,90	33,88
	T	38,30	36,10	34,00	36,70	36,28
	B	32,80	34,20	33,10	32,80	33,23
	T	35,00	33,50	35,30	35,20	34,75
	B	33,10	35,30	33,30	33,80	33,88
	T	31,70	35,30	34,00	33,70	33,68
	B	35,40	33,90	30,50	35,10	33,73
	T	38,30	41,30	36,90	38,40	38,73
	B	36,70	40,70	34,50	34,00	36,48
	T	34,70	34,70	37,20	36,20	35,70
	B	31,20	32,20	33,10	33,30	32,45
	T	37,60	35,50	35,60	39,50	37,05
	B	34,40	33,90	34,80	34,50	34,40
GRUPO 16	T	36,30	35,50	41,60	38,80	38,05
	B	30,30	32,40	30,40	34,00	31,78
	T	39,50	34,20	38,90	37,67	37,57
	B	33,20	31,50	36,70	35,00	34,10
	T	36,30	41,90	37,40	38,90	38,63
	B	25,20	33,40	25,00	30,90	28,63
	T	33,00	39,40	37,70	36,56	36,67
	B	30,50	33,60	35,50	29,00	32,15
	T	38,30	35,80	36,40	36,70	36,80
	B	29,90	31,30	32,70	30,30	31,05
	T	37,20	36,66	36,00	37,47	36,83
	B	34,20	31,50	30,80	31,70	32,05
	T	35,70	36,70	36,90	38,80	37,03
	B	32,60	31,30	29,80	32,70	31,60
	T	35,10	37,80	36,50	36,00	36,35
	B	33,50	32,60	31,40	32,40	32,48
	T	36,40	34,80	37,50	36,30	36,25
	B	29,70	31,90	30,40	32,60	31,15
	T	36,80	37,60	39,20	38,10	37,93
	B	29,40	31,70	33,80	32,10	31,75

