**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU**

ROSANA APARECIDA PEREIRA

**Avaliação da microdureza de resina composta polimerizada com
fontes de luz halógena e LED, em função da densidade de energia
luminosa irradiada**

**BAURU
2009**

ROSANA APARECIDA PEREIRA

Avaliação da microdureza de resina composta polimerizada com fontes de luz halógena e LED, em função da densidade de energia luminosa irradiada

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Odontologia.

Área de Concentração: Dentística – opção Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso Silveira Francisconi.

BAURU

2009

Pereira, Rosana Aparecida

P414a Avaliação da microdureza de resina composta polimerizada com fontes de luz halógena e LED, em função da densidade de energia luminosa irradiada / Rosana Aparecida Pereira. – Bauru, 2009.
164 p.: il. : 30 cm.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso Silveira Francisconi

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

ROSANA APARECIDA PEREIRA

08 de março de 1970

Nascimento – Pirajuí – SP

Filiação

Antonio Felisbino Pereira

Maria Cristina Barbado Pereira

1994 – 1999

Graduação – Faculdade Inca Garcilaso
de La Vega. Lima – Peru

2003 – 2005

Curso de Pós Graduação na área de
Dentística, opção Materiais Dentários
em nível de Mestrado, na Faculdade
de Odontologia de Bauru (FOB-USP)

2005 – 2009

Curso de pós-graduação na área de
Dentística, opção Materiais Dentários
em nível de doutorado na Faculdade
de Odontologia de Bauru (FOB-USP)

"O pensamento mais elevado é sempre aquele que trás alegria. As palavras mais claras são aquelas que trazem a verdade. O sentimento maior é aquele chamado amor. Alegria, verdade e amor. Os três são intercambiáveis e cada um leva sempre aos outros. Não importa em que ordem se encontre"

Neale Donald Walsch

DEDICATÓRIA

*Dedico ao meu esposo Juan Carlos Castañeda Espínosa
sem o qual tudo seria diferente na minha vida.*

*Uma pessoa com um brilho nos olhos apareceu de repente...
Olhou-me com ternura como se visse o fundo da minha
alma...*

*Senti amor desde o primeiro momento que me olhou...
Desde então você tem sido meu companheiro, esposo querido!*

Sem sua ajuda este trabalho não teria sido possível!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao DEUS PAI - FILHO - ESPÍRITO SANTO, por ter me dado vida e a oportunidade de existir aqui no mundo, que somente estamos de passagem, para podermos experimentar o dom da vida, praticando o amor e solidariedade com nossos irmãos.

Senhor inspira-me na minha vocação. Dá-me paciência e humildade para realizar meu trabalho de professora, dando uma formação de união e solidariedade aos meus alunos. Aos meus pacientes, possa dar o melhor sorriso e que minhas palavras e atitudes sejam sempre guiadas pelo Senhor meu Deus.

Agradeço meu Deus com todo meu ser, te amo acima de tudo.

Agradeço o amor incondicional e carinho da minha mãe, cuidando-me e protegendo-me desde o momento de meu nascimento até os dias de hoje. Se no mundo houvesse um décimo de todo amor que minha mãe sente por mim este seria outro, não haveria guerra nem esta violência que presenciamos entre os seres humanos. Mãe na sua experiência de vida a senhora é a pessoa mais sábia que conheci, pois o amor é tudo que realmente deveria existir. Te amo!

Agradeço ao meu pai pelo amor e amizade e por todos os momentos que me acompanhou e me deu apoio, sempre com muito amor. Ensinou-me que “no final dá tudo certo”. Te amo!

Agradeço aos meus filhos Melissa e Bruno por serem a razão da minha luta constante de superação e vontade de ser uma pessoa melhor a cada dia, assim como motivo da minha alegria e vontade de viver. Melissa você transformou a minha vida no momento que nasceu.. Bruno você completou a minha felicidade. Amo vocês meus filhos.

Agradeço ao meu esposo Juan por ter formado comigo uma família que sempre foi meu sonho, por toda ajuda que me deu em minha vida profissional, por estar de meu lado em todos os momentos, por me ter dado todo seu amor desde o momento que o conheci até hoje.

*Aos funcionários e amigos da Disciplina de Materiais Dentários da FOB – USP
Sandra, Lourivalda e o colega **Alcides**, por todos os momentos que
passamos juntos nos últimos anos no Departamento.*

*Ao **Prof. Dr. César Antunes de Freitas**, pela amizade, ajuda em muitas
coisas, me fez compreender de uma forma clara a estatística, assim como me
ajudou a formular os quadros e gráficos deste trabalho e sempre que precisei,
me deu apoio, pessoa única e singular, digna e idônea, realmente tenho muita
sorte em tê-lo como amigo.*

*Ao **Prof. Dr. José Roberto Pereira Lauris**, pela realização da
parte da análise estatística.*

*A todos os professores do Curso de Pós-graduação da FOB-USP, pelos
ensinamentos, experiências e conhecimentos transmitidos durante o curso.*

*A todos os funcionários da Pós-graduação da FOB-USP;
especialmente a **Giane, Aurélio e Débora**, pela atenção.*

*A todos os funcionários da Biblioteca da FOB-USP; especialmente a **Rita,
César, Paulinha, Ademir, Roberto, Maria Helena, Valéria**. Pela atenção
e carinho com que sempre atenderam às minhas solicitações.*

*A Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo;
representada pelo Diretor **Prof. Dr. Luiz Fernando Pegoraro** e Vice-Diretor
Prof. Dr. José Carlos Pereira.*

*Ao Presidente da Comissão de Pós-graduação **Prof. Dr. Rafael Francisco
Lia Mondelli** pelo empenho em sempre oferecer o melhor.*

A CAPES;

Pelo apoio financeiro para a realização do curso de Pós-Graduação.

*A todos os **funcionários** da **Faculdade de Odontologia de Bauru**, da
Universidade de São Paulo.*

*A todos meus amigos da FOB; **Ovídio, Emerson André, Vera, Juliana, Ticiane, Anuradha, Cristiane, Ericson Janólio, Ordilei, Nádia, Cecília, Adilson, Ana Carolina, Álvaro, Fabiane, Eugênio, Wagner, Juan Romel, Leonardo, Ricardo, Renato Savi, Marcela, Marcia, Fernando, Ivonn, Willian, Humberto, Leo, Diego, Rosa, Débora, Luisa, Adriana, Gregório, Fabiane, Linda, Murilo.***

*Ao amigo **Renato Cilli**, pela ajuda que me proporcionou toda vez que
necessitei, sempre com simpatia e boa vontade.*

*Agradeço a **Roberto Francisco Daniel; o Padre Beto**; por ter me indicado o
caminho mais curto para entender a palavra de Jesus Cristo. Muito obrigado
por fazer parte da minha vida e ser meu amigo.*

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu Orientador;

*Prof. Dr. Paulo Afonso Silveira Francisconi por acreditar em mim e permitir
que eu fizesse minhas escolhas galgando o caminho mais correto para
conclusão deste trabalho.*

Ao meu co-Orientador;

Prof. Dr. Paulo Amarante de Araújo,

*Um exemplo de dedicação à docência, que trabalhando sempre com
entusiasmo e satisfação, procura ajudar a todos que o solicitam. Serei
eternamente grata por toda ajuda incondicional que recebi em todo momento
que necessitei.*

De tudo, ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre

começando....

A certeza de que precisamos

continuar....

A certeza de que seremos

Portanto devemos:

Fazer da interrupção um

caminho novo....

Da queda, um passo de dança....

Do medo, uma escada....

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro.... ””

Fernando Pessoa

RESUMO

RESUMO

No presente estudo, avaliou-se a microdureza da resina composta Z250 (3M – ESPE), quando ativada em diferentes tempos (s), diferentes densidades de potência (mW/cm^2), em relação à quantidade de energia irradiada (8, 12 e $16 \text{ J}/\text{cm}^2$), com a finalidade de estabelecer uma densidade de energia luminosa mínima capaz de polimerizar adequadamente os compósitos. Foi utilizado um aparelho com fonte de luz halógena Degulux-Degussa, com $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ e dois aparelhos de fonte de luz LED, Ultraled XP (Dabi-Atlante) com $150 \text{ mW}/\text{cm}^2$ e LED Ultrablue-IS (DMC) com $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$ e $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Duas matrizes bipartidas de PTFE, de 1 e de 2 mm de espessura e um orifício central de 5 mm de diâmetro, foram usadas para confeccionar 60 corpos-de-prova, 5 em cada grupo. As duas partes da matriz foram contidas em um anel metálico com as mesmas espessuras. O material foi inserido na matriz e fotoativado de acordo com os diferentes tempos e a quantidade de densidade de energia luminosa para cada fonte de luz. Para obter os valores de microdureza Knoop, os espécimes foram levados ao microdurômetro Shimadzu HMV-2, com carga estática de 300 g por 5 segundos, para aferir as superfícies exposta (topo) e oposta (base) à fonte de luz, totalizando 120 medições. Os resultados foram submetidos aos testes ANOVA e Tukey, com nível de significância de 5%. Com os dados obtidos foi possível concluir que, com valores a partir de $16 \text{ J}/\text{cm}^2$ e $12 \text{ J}/\text{cm}^2$ de densidade de energia luminosa, espessuras de 2 mm de resina composta podem ser adequadamente polimerizadas utilizando-se fonte de luz halógena ($600 \text{ mW}/\text{cm}^2$) e LED (a partir de $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$) respectivamente. Contudo, estudos clínicos adicionais ainda são necessários para complementar este estudo.

Palavras-chave: Densidade de potência. Dureza Knoop. Densidade de energia luminosa. Resina composta.

ABSTRACT

ABSTRACT

Knoop hardness analisys of a resin composite activated by halogen lamp and LED, varying the luminous density

At this study it was evaluated the microhardness of the Z250 (3M – ESPE) resin composite, when light cured for different periods of time (s), with different power densities (mW/cm²), related to the irradiated luminous energy density (8 J/cm², 12 J/cm² and 16 J/cm²), in order to establish a minimal energy density capable of adequately polymerize the composites. One halogen light curing unit Degulux-Degussa, with 600 mW/cm² of power density and two light-emitting diodes curing units Ultraled XP (Dabi-Atlante) with 150 mW/cm² and LED Ultrablue-IS (DMC) with 300 mW/cm² and 600 mW/cm² were used. Two bipartite PTFE matrices, with 1 and 2 mm of depth and a central orifice of 5 mm diameter, were used to make 60 specimens, 5 per group. The halves of the matrix were positioned inside a brass ring with both depths to prepare the specimens. The resin composite was inserted and light-activated according to the different periods and energy densities of each light-curing unit. To evaluate Knoop microhardness, specimens were taken to a microdurometer Shimadzu HMV-2 with a static load of 300 g for 5 seconds, evaluating both exposed to light (surface) and opposite to light (base) exposition surfaces, totalizing 120 measurements. Results were submitted to ANOVA and Tukey's test with 5% significance level. Based on the obtained results, it was concluded that, starting from 16 J/cm² and 12 J/cm² of energy luminous density, 2 mm depth resin composite can be adequately polymerized utilizing halogen (600 mW/cm²) and LED (starting from 300 mW/cm²) curing-units respectively. However, additional clinical studies are necessary to complement this investigation.

Keywords: Power density. Knoop hardness. Energy luminous density. Resin composite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Resina composta Filtek Z250 – 3M – ESPE – Co, Minnessota, USA.....	111
Figura 2 –	O espectro eletromagnético, com os comprimentos de onda das diferentes radiações.....	114
Figura 3 –	Esquema da luz com seus diferentes comprimentos de onda.....	115
Figura 4 –	Aparelho fotopolimerizador Degulux (Degussa – USA).....	118
Figura 5 –	Aparelho fotopolimerizador Ultraled (Dabi Atlante – Brasil).....	119
Figura 6 –	Aparelho fotopolimerizador Ultrablue-IS (DMC – Brasil).....	119
Figura 7 –	Radiômetros Demetron Research Corporation – USA.....	120
Figura 8 –	Esquema da ponta do penetrador Knoop.....	121
Figura 9 –	Microdurômetro Shimadzu HMV-2 Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan.....	121
Figura 10 –	Matriz bipartida de PTFE e anel de metal.....	122
Figura 11 –	Cavidade da matriz de PTFE preenchida com a resina composta e coberta com tira de poliéster e lâmina de vidro.....	123
Figura 12 –	Polimerização do corpo-de-prova.....	123
Figura 13 –	Marca em um corpo-de-prova de resina composta, feita pelo penetrador tipo Knoop.....	125
Figura 14 –	Gráfico ilustrativo dos resultados da tabela 2. Y= contém valores de microdureza Knoop. X= fontes de luz / densidade de energia luminosa (8, 12 e 16 J/cm ²). Espessuras (1 e 2 mm). Topo (T) e base (B). Média aritmética dos valores de microdureza (ponto vermelho), com seus respectivos desvio padrão (ponto negro).....	132
Figura 15 –	Gráfico ilustrativo dos valores de dureza, apenas na base dos espécimes de 2 mm de espessura, com as quatro diferentes fontes de luz, nas três densidades de energia luminosas analisadas.....	137
Figura 16 –	Gráfico ilustrativo dos tempos de exposição necessários para cada aparelho fotopolimerizador, em função da densidade de energia luminosa requerida.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Fonte de luz / Densidade de energia luminosa* / Densidade de potência / Tempo.....	124
Tabela 2 –	Valores da dureza Knoop (kgf/mm^2), obtidos da média aritmética das marcas de cada um do corpo-de-prova de cada condição.....	131
Tabela 3 –	Resultados da dureza Knoop (expressos pela média aritmética e respectivo desvio padrão), no topo e na base dos espécimes, para os grupos das fontes de luz, em cada condição de densidade de energia luminosa (J/cm^2) / espessura do espécime (mm).....	133
Tabela 4 –	Resultados da análise estatística de variância. As variáveis analisadas são: 1 - fonte de luz, 2 - densidade de energia luminosa, 3 - espessura e 4 - superfície/base do corpo-de-prova.....	134
Tabela 5 –	Resultados do teste de Tukey, aplicado aos dados do trabalho, com comparações apenas da dureza do topo dos espécimes. (grupo homogêneo, com $\alpha = 0,05$). Grupos com letras iguais, na mesma coluna, não apresentam diferença estatisticamente significativa entre si. FL = fonte de luz; DE = Densidade de energia luminosa; E = Espessura.....	134
Tabela 6 –	Ilustra a análise estatística (Teste de Tukey), onde foram comparados os valores somente do lado da base dos corpos-de-prova (grupo homogêneo $\alpha = 0,05$. Interação $1 \times 2 \times 3$). Grupos com letras iguais, na mesma coluna, não apresentam diferença estatisticamente significativa entre si. FL = fonte de luz; DE = Densidade de energia luminosa; E = Espessura.....	135

Tabela 7 –	Mostra a análise de variância a três critérios somente para a espessura de 1 mm dos corpos de prova. Interações entre: fonte de luz (1), densidade de energia (2), topo/base (3). Estatística da análise de variância (F) e probabilidade (p).....	135
Tabela 8 –	Análise de variância a três critérios somente para a espessura de 2 mm. Interações entre: fonte de luz (1), densidade de energia (2) e superfície topo/base (3). Estatística da análise de variância (F) e probabilidade (p).....	136
Tabela 9 –	Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz halógena (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.....	136
Tabela 10 –	Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 150 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.....	136
Tabela 11 –	Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 300 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.....	136
Tabela 12 –	Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 600 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.....	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de variância
Bis-GMA	Bisfenol-A diglicidil metacrilato
BPDM	Bisfenil-dimetacrilato
Bis-EMA	Bisfenol Etil metacrilato
CQ	Canforoquinona
DMAEMA	Dimetil amino etil metacrilato
DMPT	Dimetil-p-toluidina
dp	Desvio padrão
DP	Densidade de potência
DC	Grau de conversão
et al.	E colaboradores
Fig.	Figura
g	Gramas
h	Hora
ISO	Organização Internacional de estandarização
kg/mm²	Unidade de medida: quilograma-milímetro quadrado
KHN - kg/mm²	Medida de dureza Knoop: quilograma por milímetro quadrado
LED	Diodo emissor de luz
M.E.V.	Microscopia eletrônica de varredura
mm	Unidade de comprimento: milímetro
mm²	Unidade de área: milímetro quadrado
n	Número
nm	Unidade de comprimento: nanômetro
mJ/cm²	Unidade de energia: mili-Joules/centímetro quadrado
mW	Medida de potência luminosa: mili-watts
mW/cm²	Densidade de potência luminosa: mili-watts/centímetro quadrado
P	Nível de confiabilidade estatística
PAC	Unidade fotoativadora: Arco de plasma
PTFE	Poli tetra flúor etileno

QTH	Unidade fotoativadora: lâmpada halógena
TEGDMA	Tetra etilenoglicol dimetacrilato
α	Nível de significância estatística
X	Número de vezes (aumento)
%	Por cento
UDMA	Uretil dimetacrilato
μm	Unidade de comprimento: micrômetro
UV	Espectro eletromagnético: Ultravioleta
V	Unidade de energia: Volts
°C	Unidade de temperatura: graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	43
2	REVISÃO DE LITERATURA	49
3	PROPOSIÇÃO	105
4	MATERIAIS E MÉTODOS	109
4.1	MATERIAIS	111
4.1.1	Reação de fotopolimerização da resina composta	112
4.2	APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES	113
4.2.1	Aparelhos fotopolimerizadores de lâmpada halógena	115
4.2.2	Aparelhos fotopolimerizadores à base de LED (Diodos emissores de luz)	116
4.3	RADIÔMETROS	118
4.4	AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL	120
4.5	CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	122
4.6	POLIMERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	123
4.7	TESTE DE MICRODUREZA KNOOP	125
4.8	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	126
5	RESULTADOS	127
6	DISCUSSÃO	139
7	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS	155

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Por muitos anos vem se procurando um material ideal, para substituir as estruturas dentárias perdidas, devolvendo assim a forma, a função e a estética, assim como se procura alcançar propriedades físicas e mecânicas, que sejam similares às encontradas nessas estruturas (ASMUSSEN 1982; YEARN; MACCLESFIELD 1985; FOULER et al. 1994; DUNNE et al. 1996; MILLS et al. 1999; KNEZEVIC et al. 2001; EMANI et al. 2003; GAMINE et al. 2008; BARRETO 2009).

Bassiouny & Grant, em 1978, foram os primeiros pesquisadores que realizaram uma avaliação clínica com compósitos polimerizados por luz visível. Os autores observaram que esse sistema de polimerização, apresentava características vantajosas sobre os sistemas de ativação até então conhecidos.

As propriedades das resinas compostas têm sido reavaliadas com frequência, assim como os fatores que podem influenciá-las. Sabe-se que o grau de polimerização pode alterar algumas de suas propriedades, tais como dureza e resistência intrínseca do material, estando na dependência de fatores como: cor da resina, tempo de polimerização, tipo de aparelho fotoativador, intensidade de luz irradiada, espectro da luz emitida e espessura do incremento (MANDARINO 1990; FRIEDMAN & HASSAN 1993; FIELZER et al. 1995; HARRINGTON & WILSON 1997; FUJIBAYASHI et al. 1998; FRANCO & NAVARRO 2002; SOH et al. 2003; PRICE et al. 2005; CALHEIROS et al. 2006). Devido a esses fatores, parte do material pode não ter sido polimerizado adequadamente, e isto pode aumentar a absorção de água e a degradação hidrolítica do material, afetando a estética da restauração (WATTS et al. 1986). Em regiões do material, onde a polimerização não é efetiva, clinicamente se apresenta maior índice de fratura, desgaste, alteração de cor, fratura marginal e em cavidades profundas, aumenta a possibilidade de sensibilidade pós-operatória, em função da menor bio-compatibilidade do material por ter maior quantidade de monômeros insaturados (SHORTALL & HARRINGTON 1996; FUJIBAYASHI et al. 1998; SAKAGUCHI & BERGE 1998; PEREIRA et al. 2000).

Para a polimerização das resinas compostas atuais, o processo se inicia através da absorção da luz visível pela molécula fotoiniciadora, que na maior parte

das resinas é a canforoquinona (COOK & STANDISH 1983; TAIRA et al. 1988). Tal molécula é excitada por um comprimento de onda adequado entre 390 e 510 nm, tendo seu topo em 467nm, quando se inicia um processo de geração de radicais livre, os quais por sua vez causam o desenvolvimento das cadeias poliméricas (De LANGE et al. 1980; WILSON et al. 1980; BLANKENAU et al. 1983; SKEETERS et al. 1983; YEARN, MACCLESFIELD 1985; OTA et al. 1985).

A fotoativação, ao contrário da ativação química, não promove uma polimerização uniforme por todo o material. A profundidade em que a polimerização ocorre, depende de fatores relacionados com o material restaurador e a fonte de luz. Acredita-se que as camadas mais superficiais sofrem polimerização mais completa (KILIAN 1979; KANCA 1985; FAN et al. 1987; MAC CABE & CARRICK 1989; RUGGEBEERG et al. 1994; CORADAZZI et al. 1986). Por outro lado, afirma-se, que ocorre uma polimerização incompleta na superfície da resina, por causa da reação do oxigênio atmosférico, que reage com a cadeia de radicais livres do material, evitando assim, a propagação da ligação de reação cruzada, a qual fornece uma estrutura polimerizada mais completa. À medida que a distância da superfície aumenta, parte da restauração pode encontrar-se parcial ou até não polimerizada, devido à presença de monômeros residuais (VON FRAUNHOFER 1971). Faz-se necessário que adequado comprimento de onda e intensidade de luz, seja alcançado em toda região da restauração, para estabelecer-se o máximo de polimerização e sucesso clínico em longo prazo (COOK 1986; DAVIDSON et al. 1997; ONOSE et al. 1985; DE BACKER, DERMOUT 1986; MATSUMOTO 1986).

O teste de dureza superficial de uma restauração polimerizada isoladamente, não é um guia adequado para avaliar o grau de polimerização do material; visto que; a superfície do mesmo irá polimerizar invariavelmente, mesmo com uma unidade fotoativadora de baixa potência, por isso outros testes devem ser associados a este para analisar as propriedades físicas e mecânicas do material restaurador, além da avaliação da superfície (KILIAN 1979; YEARN, MACSLESFIELD 1985; MATSUMOTO et al. 1986; FERRACANE et al. 1986). No entanto este método quando avaliado superfície (topo) e base (porção mais profunda) de um corpo-de-prova de resina composta, o método se torna um dos mais confiáveis e significantes, quando se deseja avaliar a profundidade de polimerização do material em relação à

situação clínica (DENYER & SHAW 1982; PILO & CARDASH 1992; SAMUEL et al. 1992; UNTERBRINK & MUESSNER 1995; KORAN & KURSCHNER 1998).

No presente estudo foi realizado o teste de microdureza na superfície do corpo-de-prova (topo), assim como na sua porção basal. Assim se pode observar, analisar e comparar os resultados, para associá-los a uma densidade de energia luminosa mínima necessária, para a polimerização de incrementos de 1 e 2 mm, tanto com fonte de luz LED, como halógena.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2 REVISÃO DE LITERATURA

Von Fraunhofer , em 1971, foi quem inicialmente relacionou desgaste com a resistência à abrasão, usando como medida a microdureza de superfície Reichert. Estudou duas resinas acrílicas (Sevriton e Orthofil) e dois compósitos (Adaptic e T.D. 71). Foram usadas amostras cilíndricas de 5 mm de comprimento por 8 mm de diâmetro, e as medidas de dureza foram determinadas após 15, 30, 60 minutos e 24 horas, com aplicação de uma carga de 20 g, por 10 segundos. O autor observou que a dureza superficial dos materiais aumentava com o tempo, mas tinha valores inferiores, em relação à parte interna da amostra. Essa diferença; explicou o autor; está relacionada com a polimerização incompleta que ocorre na superfície da resina, por causa da reação do oxigênio atmosférico com a cadeia de radicais livres do material, evitando assim, a formação da ligação cruzada, a qual fornece uma estrutura polimerizada mais completa.

Bassiouny & Grant, em 1978, foram os primeiros pesquisadores que realizaram uma avaliação clínica, com compósitos polimerizados por luz visível. Os autores observaram que esse sistema de polimerização, apresentava características vantajosas sobre os sistemas de ativação até então conhecidos. Entre estas características, está o tempo de trabalho controlado pelo profissional, a radiopacidade e maior segurança devido ao espectro de luz visível usado, ser completamente desprovido de radiação ultravioleta. Concluíram também que, para ocorrer uma polimerização completa numa amostra com 3 mm de profundidade, seria necessária uma exposição à luz de aproximadamente 60 segundos.

Segundo Kilian, em 1979, o grau de polimerização do compósito polimerizado por luz, depende da intensidade e comprimento de onda da luz incidente. Baseado nesse fato, ele determinou a natureza desta dependência para os compósitos polimerizados por luz visível. O grau de polimerização foi determinado pela medida de dureza Rockwell, Escala F, na superfície e fundo de amostras com 3 mm de espessura, as quais foram mantidas por 1 e 24 horas a 37⁰C. As amostras foram preparadas e polimerizadas por 60 segundos. A intensidade de luz absoluta (I) de 468 nm é o principal comprimento de onda para a polimerização e foi medido usando técnicas padrões. A dureza (RH) pela intensidade (I) foram ajustadas pela seguinte

fórmula $(RH)=m(I)+b$, como segue: (RH) superfície 24 horas + 5,64 (I) + 73,35; (RH) fundo 24 horas = 14,29 (I) + 60,26; (RH) superfície 1 hora = 19,88 + 47,90; (RH) fundo 1 hora = 28,44 (I) + 30,91. Essas aproximações são válidas para (I) maior que 0,5 e menor do que 1,25. Então uma correlação quantitativa foi encontrada entre a dureza e a intensidade de luz. Como esperado, a dureza bem como a intensidade aumentaram e na superfície apresentou maior dureza do que no fundo.

Em 1980, Cook mediu a profundidade de polimerização, e estabeleceu os fatores que interferem na polimerização de seis compósitos odontológicos de cores variadas e de diferentes fabricantes, usando penetrômetro Knoop. Para isso, foram usadas amostras cilíndricas de 4 mm de diâmetro por 8mm de comprimento, polimerizadas pela luz ultravioleta por 5, 10, 20, 40, 60, 120, 300 e 600 segundos. Em seguida, as amostras foram cortadas ao meio com disco em velocidade de baixa rotação, incluídas em resina epóxica, lixadas e depois submetidas a um polimento metalográfico. Os valores da medida de microdureza Knoop foram obtidos em um aparelho Durimet (Leitz Wetzlar). Os resultados mostraram que o grau de polimerização diminuiu rapidamente depois de uma determinada profundidade (6 mm), e dependeu da fonte de ativação ultravioleta, composição do material e do tempo de exposição. Assim; explica o autor; ao ativar uma amostra, a taxa de polimerização permanece relativamente constante, até uma determinada profundidade, onde uma quantidade significativa de radicais livres são bloqueados por moléculas do inibidor. Em profundidades superiores a 6 mm a quantidade de inibidores rapidamente aumenta, devido à diminuição no número de radicais livres produzidos pelo foto-sensibilizante, o qual resulta numa diminuição do grau de polimerização.

De Lange et al., em 1980, investigaram a eficiência do processo de polimerização de sete marcas diferentes de compósitos odontológicos, utilizando medidas de dureza Knoop. Amostras de 6mm de comprimento por 3 mm de diâmetro foram polimerizadas com luz ultravioleta por 60 e 120 segundos, e depois armazenadas a 23°C por 24 horas. Em seguida, as amostras foram divididas ao meio, pulverizadas com prata coloidal, para melhor visualizar as medidas de dureza Knoop. As medidas de dureza foram obtidas em um aparelho Durimet (Leitz Wetzlar), 1 e 24 horas após a polimerização. Os autores observaram que a absorção e o comprimento de onda do aparelho, parecem ser muito importante para iniciar a

polimerização, e que a propagação da polimerização depende da concentração de radicais livres ativos. Esses fatores podem explicar o fenômeno observado com o material Estilux, que ao ser ativado com luz ultravioleta por 120 segundos, obteve um valor de dureza Knoop de aproximadamente 80. Observaram ainda, que o material poderia ser dividido em três zonas em relação à incidência de luz: Zona A, onde o material polimerizou-se completamente devido à maior quantidade de penetração de energia luminosa, causando concentração suficiente de radicais livres ativos. Na zona B, ocorreu polimerização parcial, devido à insuficiente transmissão de energia; e, a zona C, onde o material não polimerizou-se, pois a energia de ativação ficou abaixo do valor requerido para iniciar a formação de radicais livres. Isso significa que, quando a profundidade da cavidade for excessiva, a restauração deve ser feita em camadas sucessivas, para permitir a completa polimerização.

Wilson et al., em 1980, compararam o comportamento de cinco marcas diferentes de compósitos, por meio da microdureza Reichert. Amostras com 5 mm de comprimento por 8 mm de diâmetro, com superfícies polidas e não polidas, foram mensuradas após 15 minutos, 3 horas, 24 horas e seis semanas. Os resultados mostraram que todos os materiais tiveram a dureza superficial aumentada a partir de 3 horas até a sexta semana. Além disso, todos os casos onde as superfícies foram polidas exibiram maior dureza do que as superfícies não polidas. Assim, os autores concluíram que todos os materiais restauradores poliméricos, endurecem com o tempo e com o polimento.

Em 1982, Asmussen estudou os fatores que afetam a dureza de três compósitos polimerizados por ativação química, e dois polimerizados por ativação física, de diferentes fabricantes, utilizando a dureza Wallace. Foram utilizadas amostras com 5 mm de diâmetro e 9 mm de profundidade, para os dois sistemas de fotoativação. Os compósitos autoativado foram manipulados por 25 segundos, e os compósitos fotoativado receberam uma exposição de luz durante um minuto. A seguir, as amostras foram armazenadas a 37° C por um dia, antes dos testes de dureza. Nos resultados encontrados para os compósitos auto-ativado, o aumento na quantidade de inibidor (hidroquinona) aumentou a dureza e, aumentando a quantidade de iniciador (peróxido de benzoíla), a dureza diminuiu, ainda, o conteúdo de amina (N, N dietanol-p-toluidina) não afetou a dureza do material. Para os compósitos ativados por luz visível, a concentração de catalizador (canforoquinona)

não afetou a dureza, como ocorreu nos compósitos ativados por luz ultravioleta. Diante dos resultados obtidos, concluiu o autor que a dureza não varia com a quantidade de ligações duplas. Isso implica que, as propriedades mecânicas das resinas, não são somente dependentes do grau de conversão das ligações duplas, mas também da natureza das moléculas do monômero envolvido. Assim, o grau de conversão aumenta com a quantidade de Bis-GMA e TEGDMA, confirmando que: os compósitos fotoativados apresentaram dureza superior aos quimicamente ativados.

Asmussen, em 1982, observou a influência da composição química da Resina Composta no processo de polimerização, relacionando-a com as propriedades físicas do compósito. O grau de conversão determina as propriedades mecânicas da resina composta formada, e reflete a eficácia da polimerização. A dureza e a resistência à tração da resina composta estão relacionadas com a quantidade de duplas ligações, com o grau de conversão e também com a natureza dos monômeros e sistemas catalizadores. Uma menor quantidade de inibidor pode causar uma maior proporção das duplas ligações convertidas, para serem unidas a outras ligações cruzadas de polímeros. Por outro lado, as uniões convertidas não necessariamente indicam maior grau de conversão, devido que a reação poderia ter ocorrido com oxigênio ou com uma molécula inibidora sem aumentar as uniões cruzadas.

Denyer & Shaw, em 1982, relataram que o contínuo crescimento de compósitos polimerizados por luz, determina o desenvolvimento de um método confiável e significativo *in vitro*, para avaliar o grau e a profundidade de polimerização desses materiais em relação à situação clínica. A dureza Knoop foi usada para investigar a polimerização do contorno pela luz visível, iniciando a polimerização do compósito em séries de moldes confeccionados em dente, polipropileno, PTFE ou aço. As medidas de microdureza foram realizadas em profundidade incremental ao longo da secção transversal do compósito, após estocar a amostra por 24 horas em água a 37°C. A comparação dos contornos mostrou que os moldes de metal, estavam numa correlação fechada com a situação *in vitro* das amostras dentais. Os resultados dos moldes de PTFE e propileno mostraram que a transmitância de luz através do material do molde, resultou em significativo aumento de polimerização, o qual não deverá ser manifestado

cl clinicamente. O uso dos moldes de PTFE e propileno, para analisar a profundidade de polimerização por luz visível, foi satisfatório.

Segundo Leung et al., em 1982, o grau de polimerização de compósito fotoativado para qualquer profundidade depende da quantidade de luz que atinge aquela profundidade. Baseado nisso, resolveram avaliar o efeito de tempo de exposição e espessura, na polimerização de compósitos ativados por luz visível usando Prisma-Fil GB. As amostras medindo 6 mm de diâmetro por 3,5 mm de espessura, foram confeccionadas em moldes de bronze, cobertos com uma tira de poliéster e expostas à luz ativada (Prismalite) de 10 a 60 segundos. Os valores de dureza Barcol na superfície e fundo foram medidas imediatamente após a exposição. Os resultados foram submetidos à análise de variância. Os autores concluíram que a dureza foi significativamente afetada pelo tempo de exposição, espessura, lado da amostra e todas as interações; os valores na superfície de fundo aumentaram com o aumento do tempo de exposição e diminuição da espessura; uma diminuição drástica foi observada na superfície de fundo para a amostra com espessura de 2,5 mm, após 60 segundos de exposição; e nenhuma apreciável polimerização foi observada a 3,5 mm para todas as exposições acima de 60 segundos. Entretanto, estendendo a exposição para 300 segundos, resultou numa adequada polimerização.

Ruyter & Oysaed, em 1982, estudaram o grau de conversão dos monômeros em relação à profundidade, e os fatores que afetam a passagem da luz ativadora, em sete compósitos de variadas tonalidades e pertencentes a diferentes fabricantes. Investigaram ainda, quatro aparelhos emissores de luz visível usados na polimerização, por meio da espectroscopia de reflexão de raios infravermelhos. Para isso, foram confeccionadas amostras de 5,5 mm de diâmetro por 6 mm de comprimento e irradiadas durante 20 e 40 segundos. A profundidade de polimerização foi determinada após uma e 24 horas, utilizando um micrômetro. Os resultados indicaram que existem variações consideráveis, nas profundidades de polimerização para os diferentes materiais. Os materiais fotoativado pela luz visível, apresentaram maior profundidade de polimerização, que os materiais ativados pela luz ultravioleta. Os autores concluíram ainda, que o grau de conversão e a profundidade de polimerização máxima, são dependentes da composição do material, fonte de luz e tempo de exposição. Além disso, os melhores resultados do

grau de polimerização, foram obtidos com os compósitos que utilizam partículas convencionais como reforço. Esclarece o autor que, a dispersão máxima é aumentada, assim que o tamanho das partículas de carga submicroscópicas inorgânicas for considerado aproximadamente a metade do comprimento de onda da luz ativadora. Isso limita o grau de conversão e a profundidade de polimerização.

Em 1983, Blankenau et al. avaliaram o comprimento de onda e a intensidade de luz visível, gerada por sete aparelhos fotoativador de diferentes fabricantes. Para isso, usaram um aparelho monocromático de varredura, para determinar o espectro e os picos de comprimento de onda. Os resultados da intensidade relativa, variaram no comprimento de onda específico entre 468 a 480 nanômetros. Desta forma, concluíram que, caso a intensidade de luz fosse baixa, não haveria energia suficiente para a cisão das moléculas, pois essas requerem intensidade de luz máxima para promover a cisão e formação de radicais livres, os quais iniciam a polimerização. Concluíram ainda, que fatores como a translucidez óptica e índice de refração, determinam a quantidade de luz dispersa e o limite de profundidade de polimerização, e que a polimerização continua após a fonte de luz ser removida.

Cook & Standish, ainda em 1983, mediram a profundidade de polimerização de cinco compósitos odontológicos ativados pela luz visível, em função de variáveis que controlam essa profundidade. Também, incorporaram vários inibidores e foto-sensibilizante nos compósitos estudados, para investigar o mecanismo de polimerização. Foram preparadas amostras de 4 mm de diâmetro por 8 mm de comprimento, e a profundidade de polimerização foi medida com um micrômetro. Os autores concluíram que a profundidade de polimerização desses materiais aumentou proporcionalmente ao tempo de exposição e à dose de radiação. Os níveis de foto-sensibilizante e inibidores incorporados nos materiais foram analisados por um espectrofotômetro UV visível, que determinou um aumento na profundidade de polimerização, com adição de pequenas quantidades de fotoiniciadores (canforoquinona). Entretanto, acima de 0,125% em peso, a profundidade de polimerização foi reduzida.

Skeeters et al., em 1983, determinaram a profundidade de polimerização de 5 compósitos fotoativados (Prisma-Fil, Estilux, Visio-Dispers, Visar-Fil e Silux), quando polimerizados com cada uma das 4 fontes de luz (Prismalite, Translux, Ellipar e Visar). Os corpos-de-prova foram confeccionados em matriz cilíndrica de bronze,

medindo 4 mm de diâmetro por 6,4 mm de comprimento. Três corpos-de-prova foram confeccionados para cada compósito, cada fonte de luz e cada tempo de exposição, variando de 10, 20 e 40 segundos. Durante a polimerização, a extremidade da fonte de luz foi colocada em contato com a matriz, que cobria a base da amostra. As amostras foram armazenadas em local escuro, sendo posteriormente embutidas em resina acrílica e seccionadas longitudinalmente. A extensão de polimerização foi avaliada pela dureza Knoop, realizada ao longo da superfície da amostra. De posse dos resultados, os autores concluíram que, os compósitos de micro-partículas (Visio-Dispers e Silux) apresentaram profundidade de polimerização menor, do que os compósitos convencionais para um determinado tempo e fonte de luz; a profundidade de polimerização dos compósitos depende da fonte de luz, e o PrismaLite e Ellipar produziram menor profundidade de polimerização do que o Translux e Visar.

Friedman & Hassan, em 1984, realizaram a medida de dureza Barcol de dois compósitos polimerizado por luz visível com 5 aparelhos de luz diferentes. Os corpos-de-prova medindo 6,3 mm de diâmetro por 2,5 mm de espessura foram confeccionados em matriz de PTFE. Uma amostra de cada material foi submetida a 20 segundos de exposição. Logo após as amostras foram submetidas ao teste de dureza Barcol, sendo realizadas 3 medidas na região de superfície e fundo. Com base nos resultados, os autores concluíram que os aparelhos de luz com alto rendimento, melhoraram a dureza dos materiais restauradores fotoativados, a polimerização foi maior quando foram utilizados compósitos de cor clara e um aumento na área de transmissão de luz promoveu um aumento na dureza de materiais polimerizados por luz.

Ainda em 1984, Watts et al. conduziram um estudo utilizando cinco compósitos, com diferentes partículas inorgânicas como reforço, e cinco aparelhos de procedências diferentes, para observar a profundidade de polimerização. Amostras de dimensões 15 x 4 x 2 mm foram confeccionadas e submetidas ao penetrômetro Knoop, usando carga de 200 g. O estudo indicou que no comprimento de onda de 470 nanômetros o fluxo luminoso produz um desempenho eficiente sobre os compósitos. Foi também mostrado que uma fonte de luz menos efetiva pode permitir uma polimerização satisfatória desde que o tempo de ativação seja

suficientemente longo. A dureza máxima foi obtida próximo à superfície e dependeu parcialmente do tipo e da concentração de carga utilizada nos compósitos.

Em 1985, a Associação Dental Americana relatou que, os compósitos ativados por luz visível oferecem melhor controle no tempo de trabalho. Sua composição difere dos compósitos ativados quimicamente somente no iniciador e ativador. As propriedades físicas e mecânicas adequadas dos compósitos polimerizados por luz, são similares aos compósitos ativados quimicamente. As avaliações da profundidade de polimerização dos compósitos fotoativados dependem de muitos fatores. Não há consenso de valores na profundidade de polimerização e métodos de avaliação. Os compósitos ativados por luz visível deveriam ser polimerizados em camadas com cerca de 2 mm de espessura, com tempo de exposição mais longo. A exposição de compósitos fotopolimerizado pelo profissional, ou mantidos em ambiente com muita luz durante os procedimentos restauradores, deveriam ser minimizados, para evitar a polimerização prematura. Há diferenças no modelo, distribuição do espectro e radiação intensiva das unidades de luz fotoativadora. Não há nenhuma informação definitiva correntemente avaliada dos efeitos e condições ótimas, para uso de diferentes combinações de luz/compósito. Poucas informações são precisamente avaliadas no bio-efeito da radiação de luz visível, no sistema óptico humano e tecido oral. Precauções devem ser levadas em consideração em relação ao uso e operação das unidades de luz fotoativadora. Filtros de vidro protetores deveriam ser usados.

Em 1985, Kanca comparou as durezas superficiais e a uniformidade de polimerização através da dureza Barcol, de onze compósitos usados em dentes posteriores (P-30, Sinterfil, Fulfil, Estilux Posterior, Marathon, Heliomolar, Profile, Bisfil I, Herculite, e Post Com II LC). Também avaliou o efeito do aumento no tempo de exposição e na distância entre a fonte de luz e a superfície do compósito, na dureza superficial e uniformidade de polimerização. Amostras de 2 mm de espessura por 7 mm de diâmetro foram testadas sob as seguintes condições: exposição à luz por 20 e 40 segundos em contato com amostra e exposição à luz por 20 e 40 segundos a 4 mm de distância da amostra. Uma hora após a polimerização, três leituras de dureza Barcol foram tomadas na região de superfície e fundo de cada amostra. Observou o autor que existe uma média semelhante de dureza para esses compósitos e, geralmente, a diferença entre a média de dureza na superfície e no

fundo da amostra, diminuiu com o aumento do tempo de exposição e aumentou com a distância entre a fonte de luz e as amostras.

Onose et al., em 1985, realizaram um trabalho e utilizaram quatro compósitos fotoativados e um compósito quimicamente ativado de diferentes fabricantes, para determinar a dureza superficial, efeito de tonalidade na polimerização e a influência do tempo de ativação sobre a polimerização dos compósitos. O grau de polimerização foi determinado, usando amostras de 4 mm de diâmetro por 6 mm de comprimento, seccionadas longitudinalmente, onde foram feitas penetrações para medidas de dureza Knoop, usando carga de 250 gramas por 30 segundos, a cada 0,5 mm, a partir de 0,1 mm até 5,5 mm abaixo da superfície. Os autores obtiveram números máximos de dureza na área imediatamente abaixo da região de superfície da amostra (0,5 a 0,1 mm). Em seguida, a dureza diminuiu gradualmente com a profundidade. Os agentes de coloração nos compósitos provocaram um efeito de redução no grau de polimerização, e havia uma melhora quando se prolongava o tempo de exposição. Entretanto, após 120 segundos de ativação, a dureza não mais aumentou significativamente.

Ainda em 1985, Ota et al. determinaram a dureza Barcol nas regiões de superfície e fundo, de amostras confeccionadas com cinco compósitos de procedências diferentes, variando a espessura e o tempo de exposição à luz. Amostras foram preparadas em anéis de 5 mm de diâmetro com espessuras de 1,5 – 2,0 e 2,5 mm. Números de dureza Barcol na região de superfície e fundo das amostras, foram obtidos imediatamente após a exposição à luz, nos tempos de 20, 40 e 60 segundos. Os resultados determinaram que, para cada espessura, a dureza na superfície e no fundo aumentava com o passar do tempo. A diferença máxima de dureza entre superfície e fundo sempre ocorreu em tempos mais curtos de exposição da luz. Para todos os materiais, os números de dureza após 20 e 40 segundos de exposição à luz, foram sempre significativamente menores que a 60 segundos de exposição.

Yearn; Macclesfield, em 1985, publicaram uma revisão sobre os principais fatores, que determinam as características de polimerização e, conseqüentemente da forma de atuar das resinas fotoativada. Observou-se, que entre os fatores que afetam a polimerização, a composição química das resinas é importante na determinação da proporção que ocorrerá a polimerização. Essa diferença na

composição química, podem ser com relação ao monômero (Bis-GMA ou dimetacrilato de uretano), ou à diferentes combinações de catalizadores dicetona/amina. Materiais com a mesma composição (resinosa e de partículas) com diferentes combinações de catalizadores, variam na profundidade de polimerização (para catalizador A, 1 mm de profundidade de polimerização e para B, 2 - 3 mm). As principais variáveis na composição que determina o grau de polimerização, em qualquer capa de resina composta, são aquelas que influenciam a habilidade da luz de atuar sobre a capa respectiva. São fatores que impedem a transmissão da luz. Quando alguma luz é absorvida pelo próprio catalizador os principais fatores inibidores são as propriedades óticas da mescla resina-partículas. Assim mesmo, usando a mesma combinação resina-partículas, a diferença na transmissão pode ocorrer, se os tamanhos das partículas forem diferentes, já que pode influenciar a dispersão da luz. Para qualquer formulação de resina, as características de polimerização são dadas pela quantidade e qualidade da luz, proveniente da fonte de radiação empregada, sendo esta dependente do operador, quem controla o tempo de ativação e a distância da ponta ativa. Ao relacionar a longitude de onda da luz incidida ao perfil de dureza, o valor de 476,5 nm foi mais efetivo. Em uma longitude de onda de 500 nm, o benefício é mínimo e ocorre produção de calor, o que pode adversamente afetar a polpa e os tecidos moles. Do mesmo modo, as longitudes de onda na região ultravioleta, por baixo dos 400 nm, também contribuem pouco e devem de preferência ser eliminadas.

Ainda em 1985, Yearn, relatou alguns fatores que determinam as características de polimerização e o desempenho dos compósitos fotoativado. O autor informou que a luz visível de comprimento de onda apropriado é absorvida por uma alfa-dicetona, geralmente a canforoquinona, e neste estado de excitação, reage com uma amina para produzir radicais livres. Cada cadeia adicional requer um radical livre. Dessa maneira, o grau de conversão encontrado não depende somente da formulação química, mas da quantidade de energia luminosa que alcança o catalizador. Isso significa que as camadas próximas da fonte de luz polimerizam-se mais eficientemente do que as mais profundas. Descreveu ainda que existem 3 tipos de testes documentados na literatura, para medir a profundidade de polimerização: o primeiro consta da remoção da camada não polimerizada e não indica a quantidade de polimerização; o segundo, através da medida de dureza superficial (Barcol,

Knoop e Vickers), permite resultados aproximados; e terceiro, as medidas de conversão, usando o método de espectroscopia de reflexão interna múltipla e espectroscopia de laser Raman, as quais são técnicas mais complexas e impossíveis para medida de rotina. O autor citou ainda que variáveis na composição, na luz incidente e do profissional, são fatores que afetam a polimerização dos compósitos.

Cook, em 1986, desenvolveu uma pesquisa na qual verificou que, o comprimento de onda da luz que promove a excitação da canforoquinona está dentro da faixa azul do espectro visível, entre 450 - 500 nm.

Coradazzi et al., em 1986, verificaram o desempenho de um aparelho experimental de procedência nacional, com filtro liberando luz azul, utilizado para a polimerização de resinas compostas disponíveis no mercado (Durafil, Estilux Posterior, Prisma-Fil, Heliomolar e Alpha Light). Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz de PTFE, medindo 6mm de diâmetro por 12 de comprimento, sendo polimerizada através da luz emitida pelo aparelho fotoativador (Protótipo do Fibrilux) com tempo variando de 20 a 40 segundos. Após a polimerização, os corpos-de-prova foram removidos da matriz, sendo que as porções não polimerizadas foram eliminadas. Foi utilizado um paquímetro para determinar a profundidade de polimerização de cada tipo de resina, num total de 45 corpos-de-prova. Para os testes de dureza superficial, os corpos-de-prova foram armazenados por 24 horas à temperatura ambiente, sendo posteriormente seccionados transversalmente ao centro e polidos com lixa 600. Foram realizadas 3 medidas em 3 pontos eqüidistantes. Os corpos-de-prova proporcionaram 3 superfícies distintas: 1- voltada para a fonte de luz; 2- porção central; e 3- oposta a fonte de luz. Em cada uma dessas superfícies foram feitas leituras de dureza Rockwell em 3 pontos eqüidistantes. Os autores concluíram que os efeitos de polimerização conseguidos com a lâmpada experimental estão de acordo com os padrões de polimerização, quando se usam resinas e lâmpada da mesma marca comercial; a dureza superficial obtida na porção central está próxima aos valores de dureza, correspondente à superfície voltada para a fonte de luz, sendo que a dureza caiu bastante na superfície oposta à fonte de luz.

De Backer & Dermout, em 1986, avaliaram a profundidade de polimerização de 6 compósitos fotopolimerizado, utilizando 8 aparelhos de luz diferentes. Os

corpos-de-prova medindo 2 mm de diâmetro e com espessura variando de 1, 2, 3 e 4 mm foram confeccionados em molde de aço, sendo 4 amostras para cada material, e um tempo de 60 segundos foi utilizado para a polimerização. Após a polimerização os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de dureza Knoop. Segundo os autores, as médias de dureza começaram a decrescer a partir de 3 mm de profundidade, e os materiais de macro-partículas obtiveram níveis de polimerização superiores aos de micro-partículas. Enfatizaram também que os fatores mais importantes que afetaram a profundidade de polimerização foram a composição e propriedades físicas dos compósitos.

Matsumoto et al., em 1986, determinaram a profundidade de polimerização, usando a dureza Knoop, de sete compósitos de diferentes procedências, colocados sob condições clínicas simuladas. Foram preparadas cavidades cilíndricas de 2 mm de diâmetro por 4 mm de profundidade, em superfície oclusal de segundos molares extraídos. As penetrações para medida de dureza Knoop foram feitas com carga de 500 gramas após 48 horas, e após 6 meses, 0,5 e 1,0 mm distantes da interface dente/restauração e com 1, 2, 3, e 4 mm de profundidade. De acordo com os resultados, não houve diferença significativa entre os valores de dureza dos compósitos, medidos em 0,5 e 1,0 mm distantes da interface dente/restauração, mas para cada resina composta fotopolimerizada, a dureza diminuiu com o aumento da profundidade. Dessa forma, os autores concluíram que, os compósitos exibiram uma redução na dureza com o aumento da profundidade da restauração e que os tempos recomendados pelos fabricantes são inadequados para garantir a polimerização completa. A técnica por camada pode ainda ser o melhor método para preencher cavidades que ultrapassem 3 a 4 mm de profundidade.

Ainda em 1986, Watts et al. mediram a microdureza superficial de quatro compósitos indicados para uso em dentes posteriores (Estilux Posterior, Ful-Fil, Occclusin, e P-30), utilizando as medidas de dureza Knoop em vários intervalos de tempo. A dureza Knoop foi medida após o final da ativação, novamente em 15, 30, 45 e 60 minutos, 3 e 24 horas, uma semana e 1 mês. Foram utilizados 3 grupos de 5 amostras de cada compósito, medindo 4 mm de diâmetro por 2,5 mm de espessura, polimerizadas por 60 segundos e sujeitas a condições específicas de armazenagem (20°C e 37°C no estado seco e 37°C em água destilada). Segundo os resultados, os valores de microdureza variam significativamente com o tempo, sob cada condição

de armazenagem. Foi obtida a maior dureza superficial com os quatro materiais, após um mês nas condições de armazenagem a 37°C no estado seco, sendo que após um mês, o compósito Estilux Posterior alcançou, em número de dureza Knoop, o valor de 97,80; o Ful-Fil 51,61; Occlusin 89,86; e P-30 97,87. Com isso os autores concluíram que a microdureza aumentou uniformemente com o tempo e alcançou o máximo após uma semana. Em todos os casos a melhora foi substancial depois da primeira hora, e foi maior para as amostras armazenadas a 37°C que a 20°C no estado seco. Os resultados refletem a região cruzada de polimerização progressiva dos compósitos, que continua após a fotoativação.

Ferracane et al., em 1986, determinaram a profundidade de polimerização de resinas compostas fotoativada por luz visível através de provas de dureza Knoop e da análise de espectroscopia infravermelha. As resinas compostas utilizadas neste estudo foi Prisma Fine, Prisma Fill e Aurafill, de diferentes composições e cores. Foram confeccionados corpos-de-prova com 5 mm de espessura, os quais foram expostos à luz durante 40 segundos à uma distância de 2 mm da superfície do material. Posteriormente os corpos-de-prova foram armazenados por 24 horas a 37°C, para logo serem submetidos a prova de dureza Knoop com impressões realizadas a cada milímetro do material polimerizado, até uma profundidade máxima de 4 mm. O grau de conversão foi avaliado por meio da análise de espectroscopia, em corpos-de-prova confeccionados com matrizes metálicas de 4 mm de diâmetro e 3 mm de espessura. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que as resinas compostas de cores claras, apresentam maior profundidade de polimerização em comparação com aquelas mais escuras. Os autores sugeriram que a profundidade de polimerização, pode não depender somente da cor da resina composta, mas também de outros fatores, como por exemplo, da capacidade de transmissão da luz através do volume do material.

Fan et al., em 1987, mediram a irradiação na longitude de onda de 450 a 500 nm de nove unidades de polimerização de luz visível, e relacionaram os valores de dureza Knoop das resinas compostas Prisma Fine e Silux, com diferentes valores de voltagem. Com o objetivo de determinar uma possível relação entre as variações de voltagem, intensidade de luz e profundidade de polimerização, os autores confeccionaram corpos-de-prova de 2 mm de espessura e determinaram os valores de dureza na superfície e na base dos materiais analisados. Observou-se que, a

variação de voltagem afetou a intensidade de luz emitida pelos fotoativadores, onde os maiores valores de dureza foram proporcionados pela unidade de luz regulada em 130 V, associada à intensidade de luz máxima de 246,3 mW/cm². Por outro lado não foi possível estabelecer um valor ideal de intensidade de luz capaz de promover a polimerização efetiva das resinas compostas avaliadas.

De Wald & Ferracane, em 1987, realizaram um estudo no qual compararam 4 diferentes métodos, para avaliar a profundidade de polimerização de 3 compósitos fotoativados (Aurafill-macropartículas, Prisma Fill-partícula fina, Prisma microfina-micropartículas). Na primeira parte, foram confeccionados corpos-de-prova medindo 5 mm de diâmetro por 1, 2, 4, e 5 mm de espessura em moldes de alumínio, polimerizados à uma distância de 1 mm da superfície por 40 segundos. Cinco corpos-de-prova foram confeccionados para cada compósito e para cada espessura, perfazendo um total de 75 corpos-de-prova. O grau de conversão, ou seja, o percentual de ligações duplas de carbono que se converte em ligações simples durante a reação de polimerização, foi realizado com espectrofotômetro infravermelho Fourier. À medida que aumentou a profundidade, houve um declínio rápido no grau de conversão. Na segunda parte, foram confeccionados corpos-de-prova medindo 5 mm de diâmetro por 5 mm de espessura em matriz de alumínio, polimerizado por 40 segundos a uma distância de 1 mm da superfície. Um total de 15 amostras, foram confeccionadas. Em seguida, as amostras foram removidas do molde e armazenadas em ambiente escuro por 24 horas a 37°C. Decorridas às 24 horas, as amostras foram embutidas em resinas epóxicas e armazenadas por mais 24 horas a 37°C. Posteriormente cada amostra foi seccionada longitudinalmente e polida. Em seguida, as amostras foram examinadas num Estéreo microscópio para determinar a profundidade na qual a linha demarcatória poderia ser visualizada, entre o compósito polimerizado e o não polimerizado. O material não polimerizado foi removido e a profundidade da amostra foi medida. As medidas de dureza Knoop dessas amostras foram realizadas nas profundidades de 1, 2, 3, 4 e 5 mm ao longo da superfície seccionada. Segundo os autores, a profundidade de polimerização do compósito está diretamente correlacionada com o tamanho da partícula do compósito. E no interior do compósito a dispersão da luz fotoativadora é aumentada, de modo que, o valor do tamanho da partícula de carga inorgânica aproxima-se do valor do comprimento de onda da luz ativadora. Os resultados revelaram uma

correlação entre os métodos ópticos e de remoção, estimada acima da profundidade de polimerização, quando comparada com a dureza e o grau de conversão. Embora a dureza Knoop correlacione bem com o grau de conversão, o grau de conversão foi mais drasticamente reduzido com o aumento da profundidade.

Já em 1988, Baharav et al. estudaram o efeito do tempo de exposição de uma fonte de luz visível (Translux) sobre a profundidade de polimerização e grau de dureza de um compósito, indicado para uso em dentes posteriores (Occlusin). Amostras de 15 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro foram expostas à luz visível por 10, 20, 30, 40, 60, 80 e 180 segundos. Os testes de dureza Knoop foram realizados perpendicularmente ao longo eixo das amostras e a 1 mm da superfície, 24 horas após a polimerização. Os resultados mostraram que, a porção superficial que ficou mais próxima à fonte de luz sofreu polimerização mais completa, e que um maior tempo de exposição, resultou em maior profundidade de polimerização. O grau de polimerização foi maior nos primeiros 10 segundos, e a dureza máxima foi obtida após 80 segundos de exposição medida a 1 mm de profundidade. Nenhum aumento adicional na dureza ocorreu até 180 segundos de exposição. Em profundidades maiores foi observada uma redução na dureza Knoop.

Em 1988, Takamizu et al. estudaram a variação da intensidade de luz associada com diferentes voltagens para unidades de luz visível, determinando a influência desses parâmetros na profundidade de polimerização. Os corpos-de-prova para o ensaio de dureza knoop, medindo 8 mm por 2, 3 e 4 mm de espessura, foram confeccionados utilizando matriz de bronze. Os tempos de polimerização variaram de 20 a 40 segundos, sendo as medidas de dureza em número de 3, na superfície e no fundo, realizadas em 1 hora, 24 horas e uma semana após a confecção dos corpos-de-prova. A medida da intensidade de luz foi realizada utilizando um radiômetro R 103S/A e da intensidade de luz de alguns aparelhos, variou consideravelmente para os níveis de voltagens testados e, que os fatores que mais interferiram na profundidade de polimerização foram principalmente a intensidade de luz, o tempo de exposição e a tonalidade de cor. Seus resultados indicaram que os melhores níveis de polimerização, foram obtidos com aparelhos fotoativador que apresentaram intensidade máxima e voltagens reguladas.

Taira et al., em 1988, propuseram identificar em um grupo de resinas compostas a presença da canforoquinona como fotoiniciador, ademais de medir a

concentração da mesma e identificar o agente redutor. Observou-se que existem variações referentes a estes componentes e que podem explicar os diferentes valores de polimerização entre as resinas estudadas. Utilizou-se a cromatografia de gás líquido para determinar os componentes diluentes extraídos da resina composta. A espectroscopia de Mass foi usada para a confirmação dos dados obtidos. Os resultados mostraram que todas as resinas examinadas incluíam a canforoquinona como foto-sensibilizador. A concentração da mesma na fase resinosa variava de 0,17% a 1,03% em peso. A resina composta híbrida tendia a ter maior concentração de canforoquinona do que a de micro-partícula, provavelmente devido à cor amarelada da canforoquinona, o que limita sua quantidade por motivos estéticos. Com respeito ao agente redutor, das sete marcas continham dimetil amino etil metacrilato (DMAEMA), e uma delas, dimetil-p-toluidina (DMPT). A proporção da mescla destes componentes com a canforoquinona nas três resinas analisadas também variou. A concentração do agente redutor pode aumentar a liberação dos radicais livres, por ser responsável da doação de elétrons para a canforoquinona, fazendo com que a polimerização ocorra de forma mais rápida e intensa.

Mac Cabe; Carrick, em 1989, desenvolveram um método de monitorar a intensidade da irradiação de oito unidades fotoativadora por meio do uso de uma fotocélula condutiva de sulfato de cádmio, cuja resistência elétrica varia conforme a quantidade de luz incidente sobre a mesma. Filtros de seleção de longitude de ondas de banda extensa permitiram medir a intensidade de luz e filtros de banda estreita permitiram medir a intensidade em 460 a 480 nm. A profundidade de polimerização de quatro resinas compostas foi avaliada nas diferentes condições de luz. As unidades de luz, com mais intensidade em 470 nm, geralmente produziram maior profundidade de polimerização, sendo que esta era inversamente proporcional na atenuação da luz neste ponto de emissão. Os resultados indicaram que as intensidades de luz da fonte e poder de atenuação do material influenciaram na profundidade de polimerização.

Mandarino, em 1990, estudou a microdureza de alguns produtos comerciais em função do material, tonalidade de cor, aparelho, tempo de exposição, profundidade de polimerização e possíveis interações entre esses itens. Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz de aço inoxidável, com 5 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento. Após a inserção do material na cavidade, a

polimerização do compósito, através da luz visível foi feita com exposições variando em 20, 40 e 60 segundos. Após a polimerização, os corpos-de-prova foram removidos e a parte que não havia sido polimerizada foi desprezada. Em seguida, os corpos-de-prova foram seccionados transversalmente e embutidos em gesso. Após a presa do gesso, os corpos-de-prova foram polidos em polítrix com lixas de água número 400 e número 600. Terminado o polimento, os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de microdureza Vickers num aparelho Wolpert. As medidas de microdureza foram realizadas a cada milímetro de profundidade da região superficial para a de fundo. Segundo o autor, os fabricantes de aparelhos de luz visíveis e compósitos odontológicos, recomendam a utilização de seus produtos nos mais variados tempos de exposição à luz, e os compósitos de tonalidade clara apresentam um maior grau de polimerização em relação aos de tonalidades escuras. Após a realização dos testes, o autor obteve as seguintes conclusões: os materiais em estudo apresentaram os valores de dureza diferentes entre si; a profundidade de polimerização P1 foi a que apresentou maior média de dureza; entre os aparelhos de luz analisados, o Heliomat e o Primelite foram os que apresentaram melhor capacidade de polimerização, seguidos do Translux; os materiais com tonalidade clara apresentaram maiores valores de dureza; e foi observada uma relação direta entre o aumento nos tempos de exposição à luz e a capacidade de polimerização do compósito.

Em busca de uma melhor adaptação marginal da resina composta ou a estrutura dentária, através de um método que permitisse um melhor escurimento do material durante sua polimerização, Uno; Asmussen, em 1991, pesquisaram o efeito da fotoativação com baixa intensidade de luz na adaptação marginal de resinas compostas, em cavidades localizadas em dentina. Depois do desgaste das superfícies vestibulares e linguais, confeccionaram-se cavidades cilíndricas em dentina de molares humanos extraídos. Em seguida, os preparos foram restaurados com resina composta (Silux Plus), aplicação única e a superfície do material restaurador foi coberta com uma matriz, para que a fotoativação fosse realizada. Um transformador foi anexado ao aparelho fotoativador para permitir uma redução da intensidade da luz ao nível desejado, reduzindo assim a velocidade de polimerização da resina composta, os grupos foram divididos, considerando as cinco cavidades que foram confeccionadas para cada condição a ser posta a prova: 1 - 220 Volts a

60 segundos (Baseline 1); 2 - 220 Volts a 30 segundos (baseline 2); grupo A-110 Volts por 5 segundos/0 Volts por 25 segundos/220 Volts por 30 segundos; grupos B-110Volts por 10 segundos/0 Volts por 20 segundos/220 volts por 30 segundos; grupo C-110 Volts por 20 segundos/ 0 Volts por 10 segundos/220 Volts por 30 segundos; grupo D-110 Volts por 30 segundos/220 Volts por 30 segundos; grupo E-110 Volts por 60 segundos. Observou-se que quando a resina composta foi irradiada por 30 segundos a 110 Volts, seguida de 30 segundos a 220 Volts; a adaptação marginal mostrou uma redução na largura e extensão das fendas marginais. Por tanto, obteve-se um melhor grau de adaptação com o grupo E, o qual utilizou somente uma baixa intensidade de luz. Isto deu como resultado valores aceitáveis de resistência adesiva a dentina, mediante provas também realizadas neste estudo. Os autores concluíram que uma pré-polimerização do material com baixa intensidade de luz, continuando com uma intensidade máxima, permite um melhor escurimento e diminuição de tensão de contração do mesmo, resulta em uma melhor adaptação marginal.

Dalli' Magro, em 1991, verificou a influência da intensidade luminosa emitida pelas cunhas refletoras, no grau de dureza dos compósitos odontológicos. Foram utilizados dois compósitos para uso em restaurações de dentes posteriores (Herculite XR e P-50), confeccionadas 30 amostras de cada material, usando a emissão da luz visível diretamente sobre o compósito ou através de uma cunha refletora (Hawe Neos), em tempos determinados de 30, 60, 90, 120, 150 e 180 segundos, a para cada 5 amostras, respectivamente. Após o processo de polimerização, as amostras foram incluídas em resina à base de poliéster e polidas. A seguir, as amostras foram divididas em duas regiões: superfície e fundo, onde foram feitas quatro penetrações em cada região, e as medidas de dureza foram obtidas utilizando-se um aparelho Durimet (Leitz Wetzlar), equipado com diamante Knoop, com carga de 50 gramas e tempos de 30 segundos para cada penetração. Diante dos resultados obtidos, o autor concluiu que: o compósito P50 apresentou valores de dureza Knoop maiores que o compósito Herculite XR, nas regiões de superfície e fundo; os dois compósitos estudados não apresentaram diferença estatística para os valores de dureza Knoop, nas regiões de superfície e fundo, quando polimerizados diretamente pela luz visível, a partir de 90 segundos de exposição; e os valores de dureza Knoop apresentaram diferença estatística entre a

região de superfície e fundo para ambos os compósitos polimerizados através da cunha refletora, exceto na região de superfície do compósito P-50, a partir de 150 segundos de exposição à luz visível.

Samuel et al., em 1992, verificaram a influência da distância da fonte de luz fotoativadora, polimerização adicional e influência do acabamento superficial na dureza superficial de dois compósitos (P-50 e Silux Plus). Cinco amostras de cada material, medindo 6mm de diâmetro por 2 mm de espessura, foram polimerizados por 60 segundos nas seguintes distâncias: 0, 5, 10 e 15 milímetros, perfazendo um total de 20 corpos-de-prova para cada material utilizado. Após a polimerização, as amostras foram submetidas ao ensaio de dureza Knoop nas regiões de superfície e fundo. Em seguida, as amostras receberam um acabamento e foram submetidas a uma nova incidência de luz nas mesmas distâncias por mais 60 segundos, e novas medidas foram tomadas. Com base nos resultados, os autores chegaram às seguintes conclusões: o aumento na distância da fonte de luz fotoativadora diminuiu a dureza superficial e de fundo destes compósitos; o acabamento superficial aumentou a dureza superficial destes compósitos; a adição de 60 segundos no tempo de exposição aumentou a dureza na superfície que recebeu acabamento; e a associação: acabamento e polimento adicional proporcionou maior dureza superficial.

Pilo & Cardash, em 1992, fizeram um estudo para avaliar a microdureza Knoop na superfície e na base de incrementos de resina composta de 2 mm de espessura, sendo os compósitos indicados tanto para restaurações de dentes anteriores, como para posteriores. As variáveis deste trabalho incluíram diferentes tempos de ativação (20, 40, 60 segundos) do material como uma série de intervalos de tempo para medir a dureza, imediatamente depois da irradiação até passarem 72 horas do processo de polimerização. Os resultados mostram que a dureza após a irradiação, tanto na superfície como na base da resina composta aumentaram rapidamente na primeira hora depois da polimerização, diminuindo sua velocidade durante as 24 horas seguintes e mantendo-se estável depois deste período. O aumento do tempo de exposição resultou em maiores valores de dureza para as duas regiões. Tempos de ativação superiores aqueles recomendados pelos fabricantes foram necessários, especialmente para as resinas de micro-partículas indicadas para restaurações de dentes anteriores, para alcançar os valores ótimos

de dureza na base, que deveriam ser 80-90% do máximo alcançado na superfície do material. O emprego do tempo mais prolongado da ativação é sugerido pelos autores para garantir que, a restauração não tenha falha em suas propriedades mecânicas e nem estar mais susceptível a mudanças de cores e cáries recorrentes.

Hansen; Asmussen, em 1993, estudaram a relação existente entre dureza superficial da resina composta de micro-partícula (Silux Plus) e a profundidade de polimerização, obtidas com dez aparelhos fotoativador de diferentes marcas comerciais. A prova de dureza Vickers foi realizada na superfície e na base dos corpos-de-prova, confeccionados com matrizes de PTFE com 3,6 mm de diâmetro. Logo de sete dias de armazenamento à uma temperatura de $36,5 \pm 0,5^{\circ} \text{C}$, os corpos-de-prova foram analisados por meio de cinco impressões realizadas em cada superfície. A profundidade de polimerização foi determinada por meio da prova de raspagem da resina composta fotopolimerizada com dez lâmpadas de luz. Confeccionaram-se cavidades cilíndricas em dentes molares humanos extraídos com 4,5 mm de diâmetro e 8 a 10 mm de espessura, logo de analisar os resultados, os autores relataram a inexistência de correlação, entre a dureza superficial e a profundidade de polimerização, pois o aparelho fotoativador, que representou mínima profundidade de polimerização foi capaz de proporcionar valores de dureza superficial semelhantes a aqueles obtidos com o aparelho que promoveu maior profundidade de polimerização. Ainda observaram que a superfície externa da resina composta polimerizada podia apresentar em alguns casos, porções de resina composta mal polimerizadas o mesmo não polimerizadas. Por este motivo, não se deve afirmar a qualidade de um aparelho fotoativador baseando-se somente nos resultados de dureza da superfície externa da resina composta.

Hansen & Asmussen, em 1993, avaliaram o desempenho de três radiômetros (CL-tester Sweden, Demetron model 100, Usa e o Sure Cure tester, USA) e a profundidade de polimerização de um compósito (Silux Plus). A intensidade de luz de 80 aparelhos novos, usados e danificados, foi medida com os radiômetros. O rendimento de cada aparelho foi medido 5 segundos após o aparelho ser ligado. Foram realizadas de duas a cinco medidas para cada aparelho, e o valor médio foi calculado. A profundidade de polimerização foi realizada utilizando 20 aparelhos fotoativador, em cavidades com 4,5 mm de diâmetro por 8 a 10 mm de comprimento em terceiros molares extraídos. O compósito foi colocado na cavidade e

polimerizado por 40 segundos. Após 5 minutos, o compósito da superfície não polimerizado foi removido e o polimerizado foi medido, utilizando um micrômetro de precisão (0,05 mm). Foram confeccionadas quatro amostras para cada aparelho testado. Após obter os resultados, os autores concluíram que as camadas do compósito devem apresentar espessura máxima de 2,5 mm, para ocorrer uma completa polimerização. Alguns aparelhos apresentarem diferentes intensidades para cada tipo de radiômetro. Em alguns casos, houve uma pronunciada diferença entre o rendimento dentro do mesmo tipo de unidades novas. O desempenho dos três radiômetros não foi completamente confiável, entretanto, podem tornar-se instrumentos úteis para monitorar o rendimento dos aparelhos fotoativador.

Em 1993, Rueggeberg et al. propuseram listar e ordenar as variáveis mais relevantes na otimização da polimerização de resinas compostas, para que um melhor tempo de exposição pudesse ser utilizado em termos clínicos. Desta forma estes autores propuseram avaliar simultaneamente o impacto relativo ao tipo de partícula inorgânica (híbrida ou micro-partículas), de cores (universal ou cinza), tempo de exposição (20, 40, 60 e 80 segundos) e densidade de potência (800, 578, 400 e 233 mW/cm²) em restaurações simuladas. As marcas comerciais selecionadas foram P50 e Silux Plus, utilizadas em diferentes espessuras. Na análise dos resultados, os autores verificaram que na superfície das resinas fotoativadas, o tipo de partícula, o tempo de exposição e a cor da resina foram os parâmetros mais importantes. Quando avaliaram a 1 mm de profundidade, o tempo de exposição, o tipo de partícula e a intensidade de luz foram os parâmetros mais relevantes, nesta ordem. A 2 mm de profundidade, os fatores como a densidade de potência e o tempo de exposição foram os mais predominantes. A cor da resina e o tipo de partícula inorgânica foram de mínima influência nas capas mais profundas.

Um estudo para avaliar o efeito da redução da densidade de potência das fontes de luz fotoativadora na profundidade de polimerização de várias resinas compostas e determinar a dureza destes materiais foi realizado por Flower; Swartz; Moore, em 1994. Ainda os autores procuraram detectar a capacidade dos profissionais em consultório se percebiam a redução da eficiência de seus aparelhos, depois de um determinado tempo de uso, provando a dureza do material polimerizado por meio de uma sonda exploradora na superfície e na base de um espécime. Para isto foram utilizadas as resinas compostas APH, Oclusill, Prisma Fill

e Silux-Plus para confeccionar espécimes de 3 mm de espessura que foram fotoativada com a fonte de luz Halógena (Coe Lite 4000) por tempo de exposição de 30 e 60 segundos. Posteriormente os espécimes foram submetidos a prova de dureza Barcol e avaliados por clínicos com o auxílio de um explorador para a prova tátil, sendo que a dureza observada na superfície era adotada como controle e a dureza na base dos espécimes era menor devido a densidade de potência do aparelho, sofrendo um efeito da profundidade de polimerização da resina composta, principalmente quando menor tempo de fotoativação foi empregado. Frente aos dados encontrados, os autores concluíram que a prova tátil é um método pouco confiável para análises de dureza e eficiência de polimerização e que o maior tempo de exposição do material a fonte de luz pode compensar alguma redução na sua densidade de potência, não deixando afetar o grau de polimerização desejado.

Em 1994, Rueggeberg; Caughman; Curtis buscaram a interdependência do tempo de exposição e da densidade na polimerização das resinas compostas, utilizando várias espessuras de material para simular o que ocorria em uma restauração estética direta. Para isto, foram obtidos espécimes de resinas compostas P50 e Silux Plus (3M), que foram fotoativada com a unidade de lâmpada halógena (Demetron 401) por tempos de irradiação de 20, 40, 60 e 80 segundos. Para cada um destes tempos de exposição adotados, as densidades de potência foram reduzindo-se com o uso de filtros, passando da densidade de potência de 800 mW/cm², para 578 mW/cm² e 233 mW/cm², alterando desta forma, a densidade de energia aumentada para a polimerização do material. Em seguida, os espécimes foram cortados para obter-se as espessuras correspondentes a 1 mm, 2 mm e 3 mm da amostra em profundidade. Posteriormente, a armazenagem se deu por um período de 24 horas em ambiente escuro. Os espécimes foram analisados quanto ao seu grau de conversão por espectroscopia de infravermelho. Os resultados foram expressivos no que se refere ao efeito de profundidade de polimerização na superfície da resina composta. Em espessuras maiores que 2 mm, os valores de conversão foram bastante inferiores aos demais e a polimerização destes casos, ficou mais susceptível a variações de densidades de potência que a exposição por 60 segundos, sendo recomendável ao utilizar fontes de luz com densidade de 400 mW/cm². Também enfatizaram a importância da espessura da capa do material não excedendo 2 mm, sendo ideal que os incrementos apresentem 1 mm de espessura,

e que as fontes com densidades mais baixas que 233 mW/cm^2 não deveriam ser utilizadas na fotopolimerização de resinas compostas, pois podem prejudicar as propriedades finais da restauração.

Barghi; Berry; Hatton, em 1994, buscaram resposta aos fatores que deveriam ser bem controlados pelo clínico, no sentido de assegurar a qualidade das restaurações polimerizadas com fonte de luz halógena. Visto que, apesar da comprovada eficiência, estas lâmpadas dependem de constantes cuidados, observando-se muitas irregularidades na rotina dos consultórios em quanto a estes fatores. Os dentistas em consultórios particulares utilizam lâmpadas fotoativadora inadequadas e muitos clínicos desconhecem que a densidade de potência dada por seus aparelhos é insuficiente para polimerizar completamente a resina composta. Os autores avaliaram 209 aparelhos em uso em consultórios odontológicos. As leituras foram relacionadas ao tipo de fonte de luz, ao fabricante, a frequência de uso, à condição da unidade, à idade, à frequência de mudança de bulbo, a potência em Watts do bulbo e a satisfação do profissional com o aparelho. Concluindo que 30% das fontes de luz têm uma saída de densidade menos que 200 mW/cm^2 , valor inadequado para propiciar polimerização suficiente. Para as fontes de luz halógena, a densidade de potência é inversamente proporcional à idade da unidade. 10% possuem filtros riscados o com deficiências e muitos dos dentistas nunca haviam mudado o bulbo de suas lâmpadas. O grau de polimerização é, em grande parte responsável pela qualidade estética, e do comportamento clínico do material. Variações na cor, tipo de resina composta, fonte de luz e distância devem ser consideradas quando se examina a densidade de potência de uma unidade fotopolimerizadora e o grau de conversão dos monômeros.

Correr Sobrinho et al., em 1994, avaliaram a intensidade de luz emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores comerciais. A intensidade de luz foi medida utilizando o Curing Radiometer Model 100 (Demetron Research Co, USA) na faixa de 0 a 1000 mW/cm^2 . De acordo com as recomendações, a intensidade de luz emitida deve estar acima de 300 mW/cm^2 , para efetivar o processo de polimerização nos compósitos, utilizando o tempo de exposição de luz recomendado pelo fabricante. Foram realizadas medidas da intensidade de luz em mW/cm^2 emitidos por 100 aparelhos de luz de diversas marcas comerciais, existentes em 100 consultórios dentários particulares da região de Piracicaba e Ribeirão Preto. Foram realizadas três leituras

para cada aparelho, com intervalos de tempo de 20 segundos. Os resultados médios revelaram que 68 aparelhos apresentavam valores com intensidade abaixo de 200 mW/cm², 27 entre 200 e 300 mW/cm² e 5 acima de 300 mW/cm². Os dados foram posteriormente submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, apresentando diferença estatística significativa ($p < 0,05$). Com base nos resultados, os autores concluíram que apenas 3% dos aparelhos fotoativador avaliados apresentaram valores acima de 300 mW/cm², o que indicou que os demais aparelhos emitiram intensidade de luz deficiente.

Em 1995, procurando abordar os fatores mais importantes na obtenção de uma adequada polimerização do material, Caughman; Rueggberg; Curtis realizaram uma revisão de literatura, com a intenção de avaliar os fatores que poderiam afetar a polimerização das resinas compostas, quando se utiliza uma fonte de luz halógena. Os autores recomendaram a utilização de aparelhos fotoativador de qualidade e que os mesmos deveriam ser provados periodicamente, em termos de intensidade de luz. Sugeriram que a intensidade mínima aceitável deve ser medida com a utilização de um radiômetro e que a intensidade mínima aceitável seria compreendida entre 280 mW/cm² e 300 mW/cm². Por tanto, é importante que os profissionais, estejam alertas aos sinais de degradação do bulbo, do refletor e da fibra ótica da fonte de luz. Adicionalmente, a resina composta seria um fator considerado, uma vez que as partículas de carga entre 0,01 a 1.0 micrômetros reduzem a penetração da luz devido à dispersão, assim como o emprego de matizes mais escuras, as quais devem afetar negativamente a transmissão da luz. Propuseram que cada incremento de resina não deve exceder os 2 mm de espessura e que a distância entre a ponta ativa dos aparelhos a superfície da resina pode ser até 6 mm, com um mínimo de 60 segundos de exposição.

A proposta de Unterbrink; Muessner, em 1995; foi o efeito de diferentes intensidades de luz na formação de fendas marginais, no desenvolvimento do módulo, a resistência flexural e a profundidade de polimerização dos sistemas restauradores. As cavidades foram confeccionadas em vestibular de 48 incisivos bovinos com margens em dentina, os quais foram divididos de acordo com os diferentes procedimentos restauradores e intensidades de luz: 1. Syntac/ Tetric/ 250 mW/cm², 2. Syntac/Tetric/ 450 mW/cm², 3. Scotchbond MP/Tetric/250 mW/cm² 4. Scotchbond MP/Tetric/450 mW/cm², 5. Syntac/Z100/250 mW/cm², 6. Syntac/Z100/450

mW/cm² , 7. Scotchbond MP/ Z100/250 mW/cm² , 8. Scotchbond MP/ Z100/450 mW/cm² . Em todos os grupos, a resina composta foi inserida em incrementos únicos e fotoativado por 40 segundos. A análise marginal mostrou que a resina composta Z100, quando foi utilizada tanto com o Scotchbond MP como o Syntac, apresentou maior formação de fenda marginal quando foi fotoativada com alta intensidade de luz. A resistência e o módulo de elasticidade das duas resinas compostas foram inferiores ao ser fotoativada com baixa intensidade de luz, depois dos 30 minutos e 24 horas. Não foram encontradas diferenças na contração volumétrica ou na profundidade de polimerização, relacionada ao método de fotoativação para os materiais provados. Em um tempo de fotoativação de 40 segundos, os materiais foram igualmente polimerizados a uma profundidade de 4.5 mm, independentemente da intensidade de luz utilizada. Concluíram que a utilização de alta intensidade de luz pode ocasionar uma integridade marginal inferior, devido a maior tensão de contração gerada, e que o desenvolvimento do modulo de elasticidade pode ser influenciado pela intensidade de luz.

Considerando que a intensidade de luz e o tempo de exposição constituem fatores importantes para um adequado grau de conversão da resina composta e conseqüentemente, para a durabilidade da restauração; Feilzer et al., em 1995, avaliaram a influência da intensidade da luz na integridade adesiva de restaurações de resinas compostas em cavidades classe V. Este estudo também avalia a influência da intensidade de luz na contração de polimerização e o efeito de utilizar um material intermediário. Pré-molares e caninos (24) humanos receberam cavidades classe V nas superfícies vestibulares e linguais, com margens cervicais localizadas por baixo da união amelo-cementária. Os dentes foram divididos em 3 grupos: 1. sistema adesivo/base intermediária (Protect Liner) resina composta, 2. Sistema adesivo/resina composta, 3. Sistema /capa intermediária (Protect Liner) como material restaurador. Para cada grupo, a metade dos espécimes foram fotoativados com uma intensidade de luz de 250 mW/cm² e a outra metade com 650 mW/cm². Depois da ciclagem térmica (400 ciclos; 15 a 65°C), os espécimes foram seccionados em sentido vestibulo lingual e fizeram impressões para analisar em M.E.V. Os resultados mostraram uma continuidade aceitável na interfase adesiva para as intensidades utilizadas. A utilização de baixa intensidade de luz mostrou uma melhora significativa para a integridade marginal, quando foi comparada com a

de alta intensidade de luz. Segundo os autores, isto se deve a extensão da fase pré-gel e a conseqüente redução das tensões de contração. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos, pois a presença da capa intermediária entre a parede da cavidade e a resina composta (grupo 1), ou a restauração realizada com esse material (grupo 3), não influenciou na integridade marginal obtida. A contração de polimerização para as duas condições analisadas foi similar, sugerindo um grau de conversão semelhante nas propriedades dos materiais. Concluíram que a utilização de baixa intensidade de luz, ao contrário da alta intensidade, contribuiu com uma melhor integridade marginal em restaurações realizadas em cavidades de cavidades classe V.

Harrington & Wilson, em 1995, publicaram um trabalho no qual descreviam as características de algumas unidades de fotoativação (Caulk; Optilux; Luxor e Prismetics). Na sua pesquisa buscaram avaliar a estabilidade que os aparelhos apresentam em sua densidade em relação à densidade de potência depois de repetidos usos, a variação da densidade em relação à distância fonte de luz/material e também a área do material a ser polimerizado, assim como a profundidade de polimerização alcançada com a utilização das fontes de luz testadas. Seus resultados mostraram que para ativações de 20 segundos, pelo menos 40 segundos de espera antes de uma próxima fotoativação do aparelho deveria ser respeitada para não haver perda na potência; a distância da ponta influencia substancialmente a densidade de potência, que logo o material fotoativado e o diâmetro da ponta não influência na área fotoativadora para a fonte de luz Luxor. Os autores observaram que, a irradiação das unidades diminuiu com o uso contínuo devido ao considerado aumento da temperatura em todas as unidades testadas. Por fim concluíram que uma maior densidade de potência, não sugere necessariamente uma maior profundidade de polimerização.

Goracci, Mori; Casa de Martinis, em 1996, compararam a adaptação marginal de resinas compostas em dentina depois da fotoativação do material em forma convencional e gradual. Confeccionaram-se cavidades classe V, em pré-molares humanos extraídos e restaurados com a resina composta Z100, a qual foi aplicada em forma incremental. No primeiro grupo (A), todas as capas foram fotoativada com a técnica convencional (40 segundos a 250 mW/cm²), e as do segundo grupo (B), foi utilizada uma técnica de fotoativação gradual na capa superficial da resina. Para

isto, um equipamento regulador foi adicionado à fonte convencional para permitir o aumento gradual da intensidade de luz emitida em uma franja de 30 a 250 mW/cm² em 4 minutos. Posteriormente confeccionaram-se réplicas de resinas para serem observadas através do M.E.V. O grupo (A) não mostrou fendas na interfase esmalte-dentina, pelo tanto o exame da interfase esmalte-dentina revelou fendas de 10 µm. Esse resultado deve-se à contração proveniente da polimerização iniciada pela fotoativação convencional, que gerou tensões concentradas nas áreas de uniões mais frágeis. Os espécimes onde a primeira capa de resina foi polimerizada gradualmente em (B), foi observado uma continuidade estrutural entre o material restaurador e a resina composta. No entanto, a tensão gerada pela contração não foi suficiente para romper os enlaces adesivos entre o material restaurador e a estrutura dentária. Os autores concluíram que é possível melhorar uma adaptação das resinas compostas na superfície dentinária, através da redução da velocidade de polimerização, representando dessa forma uma solução aos problemas de adesão em restaurações de resinas compostas.

Dunne; Davies; Millar, em 1996, desenvolveram um estudo com o objetivo de pesquisar a densidade de potência de 49 aparelhos fotoativador em uso clínico e medir o efeito na profundidade de polimerização das resinas compostas causada pela alteração da densidade destas mesmas fontes de luz. Para essa pesquisa, utilizaram um radiômetro para medir a densidade de potência emitida pelas fontes de luz. A profundidade de polimerização foi avaliada em restaurações de resina composta (Herculite XRV – Kerr) realizadas em primeiros molares humanos, sendo os tempos de irradiação: 20 segundos e 60 segundos. Posteriormente, os espécimes foram submetidos a prova de raspado do material não polimerizado, de acordo com as especificações da ISO 4049. Os dados encontrados mostraram que as unidades com baixa densidade de potência foram capazes de polimerizar, depois de 20 segundos de exposição à luz com 1,9 mm de espessura de resina composta. Ao aumentar de tempo de fotoativação para 60 segundos, a profundidade de polimerização aumentou em 1,4 mm em relação ao tempo menor, mostrando que a exposição do material por maior tempo pode compensar a perda na potência do aparelho fotoativador.

Shortall & Harrington, em 1996, publicaram uma guia para a seleção, uso e manutenção de aparelhos fotoativadores e afirmaram que a densidade de potência

adequada e correto espectro de distribuição estão relacionados com a profundidade de polimerização e grau de conversão das resinas compostas. A uma espessura de 1-2 mm de resina sobreposta, ocorre a redução da densidade de potência e a taxa de polimerização. No entanto somente um pequeno aumento da profundidade de polimerização pode ocorrer, se a densidade ou tempo de exposição forem duplicados. Os autores citam que o tempo de ativação de 40 segundos para a espessura de 2 mm parece ser apropriado. Para as fontes de luz halógena, a potência da lâmpada varia de 100 a 600 mW/cm², que não indica a eficiência da mesma. A extensão do espectro de emissão de luz varia de 300 a 1000 nm incluindo energia infravermelha e ultravioleta, razão pela qual os fabricantes colocam um filtro entre a lâmpada e a guia de luz para polimerização de materiais foto-sensíveis eliminando assim o calor produzido, sendo esta uma longitude de emissão entre 400 e 500 nm.

Em um estudo realizado por Miyazaki et al., em 1996, foram avaliadas as propriedades mecânicas e as características de polimerização de resinas compostas, por meio de testes de resistência flexural e a fratura. As resinas compostas provadas foram: Clearfil AP-X (Kuraray), Herculite XRV (Kerr), Palfique Estelite (Tokuyama) e Filtek Z100 (3M – ESPE) e a fonte fotoativadora halógena utilizada foi Coe-Lite 4000 (Imperial Chemical). Os espécimes foram confeccionados de acordo com as recomendações para cada tipo de prova e fotoativada por 30 segundos com densidade de potência de 400 mW/cm², por 60 segundos com 200 mW/cm² e por 20 segundos com 100 mw/cm². Depois foram armazenados por 24 horas em água a 37⁰C, e as provas foram realizadas. Para todas as propriedades avaliadas, houve diferença por tempos empregados para cada material, não houve diferença significativa entre a resistência e a fratura, resistência flexural e o módulo flexural, considerando os valores encontrados nestas provas para o mesmo material analisado. Os autores observaram que tanto a resistência flexural como a resistência a fratura foram semelhantes, quando a densidade de potência, foi a mesma. Verificaram também que a baixa densidade de potência exigia um tempo maior de ativação para alcançar os mesmos resultados relativos às propriedades mecânicas.

Harrington; Wilson; Shortal, em 1996, propuseram um método para determinar o tempo de irradiação apropriado para fontes fotoativadora na polimerização de diferentes resinas compostas e para monitorar a energia de

irradiação transmitida para a resina composta. Utilizou-se um radiômetro computadorizado e através de provas de microdureza para a superfície do ponto mais alto da resina, foi possível verificar a validade do método pelo desenvolvimento da fonte de luz em tempo de ativação estipulado, comparando-se com 60 segundos de ativação. Os autores obtiveram, em condições ideais, tempos mínimos de 16 segundos a 44 segundos para polimerizar 2 mm de espessura para as diferentes combinações de materiais/cor/unidades fotopolimerizadoras. Da mesma forma observou-se que a duração da irradiação para resinas de diferentes cores, no entanto do mesmo produto, são similares, provavelmente por ter a mesma composição química e que, o tempo de 20 segundos estabelecidos por alguns fabricantes para 2 mm de espessura pode ser insuficiente para obtenção de uma resina composta adequadamente polimerizada.

Em 1997, Araujo; Araujo; Fernandes realizaram um trabalho para avaliar as condições das fontes fotoativadora, utilizadas nos consultórios odontológicos e analisar o nível de consciência dos profissionais no que se refere aos cuidados que deveria ser tomado, para obter uma restauração com o máximo de qualidade. Para isso avaliaram a densidade de potência, o calor emitido e a influência destes fatores em relação ao tempo de uso das fontes de luz. Foram submetidos a uma avaliação de 105 aparelhos fotoativador dos quais 60 foram considerados novos (uso < anos) e 45 antigos (uso > anos), totalizando 20 modelos diferentes. Foi utilizado o radiômetro para medir a densidade de potência e o colorímetro para analisar o aumento de temperatura do aparelho. De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que os aparelhos mais novos irradiaram com menor quantidade de calor e de densidade de potência mais alto, sendo que 75% destes apresentaram-se adequados para o uso. No entanto somente 11% dos aparelhos antigos se encontram em bom estado de utilização.

Davidson et al., em 1997, avaliaram o efeito da intensidade de luz reduzida na preservação da adaptação das paredes da cavidade. Nesse estudo, foram utilizadas as resinas compostas de micro-partículas (Silux Plus) e a híbrida (P50). Para a avaliação da adaptação interna, confeccionaram-se cavidades de classe V em dentes bovinos, localizados a nível de dentina. Os materiais restauradores foram fotoativado com duas densidades de potência: 700 mW/cm² por 60 segundos e 10 segundos e a 175 mW/cm² por 60 segundos. Depois das 24 horas de

armazenamento, os procedimentos de acabado e polimento foram realizados e os espécimes foram seccionados no sentido vestibulo-lingual através da restauração. Obtiveram-se réplicas que foram analisadas em M.E.V. Pela análise dos resultados, se observou que não havia diferença significativa na adaptação interna entre os dois tipos de resinas compostas utilizadas. Para as resinas de micro-partículas, houve um número significativamente maior de defeitos visíveis quando se utilizou uma densidade de potência de 700 mW/cm², comparada a densidade de 175 mW/cm² em um tempo de irradiação de 60 segundos. Quando se alterou o tempo de exposição de 60 segundos a 10 segundos, houve uma diminuição significativa no número de defeitos visíveis para a resina híbrida, mas não para a resina composta de micro-partículas. No entanto se observou que ao reduzir a densidade de potência houve um menor grau de conversão de monômeros, mais apesar disto; foi possível obter boas propriedades mecânicas e uma boa adaptação das paredes da cavidade.

Nonomoto, em 1997, avaliou a influência da longitude de onda na polimerização de resinas compostas fotoativadas e mediu a densidade de potência por meio de um radiômetro (LI-190S, Li-Cor Inc.); utilizando para a seleção da longitude de onda um filtro de banda estreita e um filtro de densidade neutra. O ponto máximo de absorção para a canforoquinona (CQ) foi de 467 nm, sendo 470 nm seu grau de maior conversão. No espaço que compreende os 450 - 490 nm o grau de conversão é debilmente sensível à longitude de onda. Os autores afirmam que a densidade de potência dentro desta extensão é mais importante do que o pico de longitude de onda. Fora destes valores, entretanto; a dependência da longitude de onda é mais forte e a taxa de conversão diminui rapidamente. Conseqüentemente, a densidade e a longitude de ondas ideais para fontes de luz fotoativadora deve estar no intervalo dos 450 - 490 nm, para as resinas compostas que possui CQ como fotoiniciador. Com 5 segundos de exposição, graus de conversão e conversão de polimerização foram afetados pela longitude de onda porque a absorção da CQ afeta fortemente a polimerização, especialmente no estado inicial. O autor enfatiza que a densidade de potência e a longitude de onda de 470 nm pode ser uma guia para a eficiência na polimerização. Somente aquelas longitudes de ondas fortemente absorvidas pelo fotoiniciador são úteis na fotopolimerização.

Em 1997, Pereira et. al avaliaram a capacidade de polimerização por meio de provas de dureza Vickers, de uma resina composta, em função de diferentes densidades de potência e profundidades de polimerização. Foram selecionadas 120 fontes de luz de diferentes modelos e marcas comerciais; das quais foram registrados os valores de densidade emitida com um radiômetro. Foram confeccionados espécimes com resina composta Herculite XR, em um incremento único fotoativado por 40 segundos e armazenados à temperatura de $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Os resultados da prova de dureza demonstraram uma relação diretamente proporcional entre dureza e densidade de potência, sendo as fontes que emitiam maior densidade de potência (800 mW/cm^2) as que proporcionam maior capacidade de fotopolimerização em uma profundidade de até 4 mm.

Peutzfeldt, em 1997, descreveu uma revisão sobre resinas compostas. Os componentes principais como matriz orgânica, a qual é composta pelo sistema monomérico, iniciadores e estabilizadores; partículas inorgânicas, como vidro, quartzo e sílica e um agente organo-silano que une as partículas de carga a uma matriz orgânica. As propriedades da resina composta, dependem desses três componentes. Os monômeros utilizados nas resinas composta, são baseados em Bis-GMA o qual foi desenvolvido desde 40 anos atrás. A principal desvantagem da resina composta é a contração de polimerização e baixa resistência aos esforços mastigatórios. Para compensar essas desvantagens foram desenvolvidos outros monômeros que aumentam o grau de conversão, melhorando as propriedades e a longevidade das resinas compostas.

Koran & Kurschner, em 1998, propuseram avaliar comparativamente o grau e a profundidade de polimerização, a contração, a viscosidade e a microdureza de uma resina composta, ao ser fotoativada através de duas técnicas. Técnica de dois passos: grupo 1- 150 mW/cm^2 por 10 segundos + 500 mW/cm^2 por mais 30 segundos (16.5 J/cm^2); grupo 2- 150 mW/cm^2 por 10 segundos + 700 mW/cm^2 por mais 30 segundos (22.5 J/cm^2). Nos demais grupo utilizou-se uma técnica de fotoativação convencional: grupo 3- 500 mW/cm^2 por 40 segundos (20 J/cm^2); grupo 4- 700 mW/cm^2 por 40 segundos (28 J/cm^2). Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e comprovou-se que quando se utilizou a técnica de dois passos, não houve diferença estatisticamente significativa em relação a contração de polimerização, a microdureza de superfície e a concentração de monômeros

residuais; ao ser comparada com a técnica convencional. No caso da prova da resistência à adesão, se observaram maiores valores quando se utilizou a técnica de fotoativação de dois passos. Os maiores valores de resistência à adesão foram apresentados pelo grupo onde se utilizou a maior densidade de potência (grupo 4). Sendo assim os autores concluíram que, o escorrimento do material é maior quando se utiliza uma redução inicial da densidade de potência, o que contribui para a redução de tensão de contração na cavidade durante o processo de polimerização. Desta forma, mencionaram que ao fotoativar o material restaurador com a técnica de dois passos, esta deverá contribuir de forma significativa para uma melhor adaptação marginal.

Fujibayashi et al., em 1998, realizaram um estudo com dois aparelhos a base de emissores de luz de diodo, que ainda não haviam sido lançados no mercado: LED (Nichia Chemical Ind. Ltda; Tokushima) comparando-as com uma fonte de luz halógena (Optilux-Demetron); todos ajustados para intensidades de 100 mW/cm². Para isto utilizou-se uma resina composta Silux Plus (3M) para investigar a profundidade de polimerização e o grau de conversão que se obtém com diferentes fontes. Os corpos-de-prova foram confeccionados de acordo com a ISO 4049, apresentando uma espessura de 8 mm, os quais foram fotoativado por 10, 20, 40 e 60 segundos. Posteriormente, se mediu a profundidade de polimerização por meio de raspagem do material amolecido na base do espécime e também foram submetidos a provas de espectroscopia infravermelha (Fourier) para análise do grau de conversão. Os resultados mostraram que a fonte LED2 apresentou seu pico de emissão em 466 nm, demonstrando um melhor desempenho que a LED (444 nm) e a fonte de luz halógena em relação a profundidade de polimerização. No que se respeita ao grau de conversão, a fonte de luz que mostrou melhores resultados também foi a LED2, permitindo aos autores concluir que: a irradiação LED é efetiva na polimerização de resinas compostas e, portanto, a mesma pode ser utilizada como fonte de luz.

Martin, em 1998, realizou um estudo com o propósito de avaliar a eficiência das unidades de luz visível utilizadas na fotopolimerização de clínicas australianas. As informações obtidas neste estudo foram coletadas por meio de visitas aos dentistas, informando-os sobre o tempo de uso da fonte de luz, história da sua manutenção, a mudança de seus componentes e a leitura da densidade de potência.

O autor observou que de 214 fontes de luz provadas, aproximadamente 27%, registraram uma densidade de potência igual ou inferior a de 200 mW/cm², um nível que é considerado inadequado para incrementos de resina composta com espessura de 2 mm. Outros 26% apresentaram densidade de potência entre 201 a 399 mW/cm², o que também pode ser considerado para a fotopolimerização, não sendo o ideal; o que torna a situação ainda mais preocupante no fato de que 44% dos dentistas entrevistados, disseram utilizar um tempo de ativação de 20 segundos ou menos; e 50% reportou nunca haver medido a densidade de potência de suas lâmpadas fotoativadora, o que induz o autor a concluir que a maioria das fontes de luz não apresentam condições satisfatória de funcionamento e de que muitos profissionais não estão conscientes da necessidade de manutenção e regulação da densidade de potência das fontes de luz, que utilizaram em seus procedimentos restauradores.

Sakaguchi & Berge, em 1998, avaliaram a relação entre a densidade de potência com a tensão de contração de polimerização pós gel e com o grau de conversão de resinas compostas. Para isso os autores confeccionaram espécimes cilíndricos de resinas compostas, que foram polimerizadas a uma distância de 7 mm, com um tempo de exposição de 40 segundos e intensidade atenuada de luz: I- 71%; II- 49%; III- 34%. Foram comparados os resultados com outro grupo (IV) no qual se utilizou uma densidade de potência inicial reduzida (71% por 20 segundos) seguida de uma densidade de potência máxima (100% por 20 segundos). Um grupo foi polimerizado com a intensidade máxima por 40 segundos e serviu como controle (V). O grau de conversão (DC) foi medido na superfície e na base dos espécimes, além da tensão de contração de polimerização pós gel que foi feita na base dos mesmos. Os resultados mostraram que ocorreu uma diferença significativa no grau de conversão entre os grupos, com exceção dos grupos que tiveram uma diminuição de intensidade de 71 a 49%. Quando se avaliou a base dos espécimes, não houve diferença significativa entre os resultados do DC de grupos com diminuição de 71% com densidade de potência máxima de 100%. No resto houve diferença entre todos os grupos experimentais. O grupo IV não apresentou diferença significativa em relação aos demais grupos; e apresentou uma redução de 21.8% de contração de polimerização pós gel. Os autores concluíram que a aplicação de uma densidade de potência com menor intensidade que uma de máxima potência, resulta em uma

redução da contração de polimerização pós gel, sem que afete significativamente o DC da resina composta avaliada.

Com o fim de verificar a hipótese de que uma unidade de fotopolimerização, emitindo luz azul de diodo (LED) pode produzir uma profundidade de polimerização equivalente a uma unidade halógena, Mills; Jandt; Ashworth, em 1999, utilizaram três resinas compostas (Silux Plus U, P50 U e Filtek Z100 A3.5) e uma matriz metálica medindo 4 mm de diâmetro y 6 mm de profundidade, para confeccionar os corpos-de-prova. Das unidades fotoativadora (Coltolux 4 e LED) foram utilizadas e as resinas fotoativada em tempos de 40, 60 e 40 segundos respectivamente; de acordo com as recomendações do fabricante, com as fontes de luz. A profundidade de polimerização foi avaliada e a partir dos resultados encontrados, os autores puderam concluir que com a unidade LED com uma irradiação de 64% da unidade da lâmpada halógena, mostrou uma profundidade de polimerização significativamente mais alta. O espectro de luz emitido pode ser considerado conjuntamente com a densidade de potência, como um indicador de sua efetividade. O uso de unidades de LED, pode significar um uso potencial à nível clínico, devido a que sua efetividade não se reduz no tempo, como ocorre com as fontes de luz halógena.

Rueggberg, em 1999, publicou uma revisão sobre o processo de polimerização, nas diferentes fontes de luz presentes no mercado e as diferenças entre os protocolos de polimerização. Este trabalho cita a importância das indicações dadas no rótulo da resina composta, e que o mesmo deveria vir com as informações necessárias do tempo de polimerização. Dessa a fonte fotoativadora deveria indicar a densidade de potência e a longitude de onda emitida. O espectro eletromagnético necessário para uma resina, deve coincidir com o espectro de luz, ou do contrário não haverá fotopolimerização. O autor define um conceito de energia total de polimerização. A analogia é feita com um filme fotográfico, onde o tempo de exposição é variado de acordo com as condições de luz do ambiente e com a sensibilidade do filme a ser usado (a ASA ou o número ISO). Um filme mais sensível vai precisar de um tempo de exposição mais curto em níveis menores de iluminação, que o de filmes com menor sensibilidade. Para calcular esta energia total, é necessário saber a intensidade da fonte fotoativadora (mW/cm^2) e a duração do tempo de exposição (segundos). Considerando uma resina que necessite uma

exposição de 40 segundos a 600 mW/cm^2 , para propiciar uma adequada polimerização em 2 mm de profundidade, o total da energia concedida à este material é o produto de 40 segundos x 600 mW/cm^2 a 2400 mJ/cm^2 (24 J/cm^2). Dessa forma qualquer combinação de exposição e intensidade que resulte em 24 J/cm^2 deve propiciar a mesma quantidade de polimerização..

Jandt et al., em 2000, afirmaram que o aparelho fotopolimerizador de lâmpada halógena é a tecnologia mais popular para a polimerização de resinas compostas, porém apresenta desvantagens como a degradação interna de seus componentes ao longo do tempo como o bulbo, refletor e filtro. Isto ocorre devido às altas temperaturas geradas durante a utilização desses aparelhos. As lâmpadas halógenas possuem um filamento de metal que emitem luz num comprimento de onda chegando a 700 nm. Por isso filtros são utilizados para remover comprimentos de onda menores que 400 nm e maiores que 500 nm. A perda de eficiência desses aparelhos, fornece às resinas compostas, poucas propriedades mecânicas e aumento do risco de falhas prematuras na restauração. Os autores testaram as seguintes hipóteses: não existem diferenças na profundidade de polimerização e na resistência à compressão fotoativadas com aparelhos à base de LED ou com aparelho de lâmpada halógena convencional. O segundo objetivo desse estudo foi caracterizar a intensidade de luz e os espectros da luz emitida pelo aparelho de lâmpada halógena 201R (Dentsply) e por um aparelho à base de LED. A potência dos aparelhos foi determinada com um “power meter Coherent 210”. O espectro da luz foi determinado com imagem espectrográfica MS127i (Lot Oriel). Para o teste da profundidade de polimerização foram confeccionadas matrizes metálicas com 4 mm de diâmetro e 8 mm de profundidade. A resina composta TPH Espectro (Dentsply) cores A2 e A4 foram inseridas na matriz e polimerizada por 40 segundos com os dois aparelhos testados. O penetrômetro foi utilizado para determinar a profundidade de polimerização e o teste mecânico “Zwich” foi utilizado para determinar a resistência à compressão. Nesta pesquisa o aparelho de lâmpada halógena proporcionou maior profundidade de polimerização que o aparelho à base de LED. Não houve nenhuma diferença nas resistências de compressão dos corpos-de-prova polimerizados com aparelho à base de LED ou com o aparelho de lâmpada halógena. O aparelho de lâmpada halógena apresentou um pico de comprimento de onda de 497 nm, e o aparelho à base de LED 465 nm, próximo ao pico de absorção

da canforoquinona 467 nm, a lâmpada halógena apresentou comprimentos de onda em torno de 360 nm na região do espectro ultravioleta. Os autores verificaram que 95% da intensidade de luz do aparelho à base de LED apresentaram entre 438 e 501 nm e nenhuma luz ultravioleta ou infravermelha foi emitida. A intensidade do aparelho de luz à base de LED foi de 350 mW/cm² e do aparelho de lâmpada halógena 755 mW/cm². Segundo os autores o intervalo de comprimento de onda ideal para resinas compostas que apresentam canforoquinona como fotoiniciador deve ser de 450 a 490 nm.

Seabra, em 2000, avaliou a profundidade de polimerização de resinas de alta densidade e sua relação com diferentes tempos de exposição e polimerização através do esmalte dentário. Neste estudo foram analisadas as resinas Alert (0, Solitaire, Surefill e a resina híbrida Z100, sendo utilizada como controle. Empregou-se uma matriz cilíndrica de PTFE branca com 1 cm de espessura por 0,5 cm de diâmetro para obtenção dos espécimes. Se interpôs uma lâmina de vidro de 0,2 mm de espessura entre a matriz e a fonte de luz (Curing Light 2500 – 3M) com ou sem a capa de esmalte de 1,6 mm de espessura, seguida da polimerização por 40 e 80 segundos. Realizou-se a prova de dureza Barcol e os dados foram submetidos a análise estatística (prova de Tukey). Observou-se que houve diferença estatisticamente significativa para as variáveis do material, tempo de exposição à luz e interferência do esmalte, exceto para as condições com e sem interferência de estrutura dentária e exposição por 80 segundos (entre as resinas Z100 e SureFill) e com interferência de estrutura dentária e exposição por 40 segundos (entre as resinas Z100 e SureFill como também entre as resinas SureFill e Alert). Os resultados indicaram que a interposição do esmalte e o tempo de exposição à luz interferem na profundidade de polimerização, podendo afetar o grau de polimerização mínimo estabelecido pelos fabricantes.

Em 2001 Knezevic et al. avaliaram o grau de conversão (DC) e o aumento de temperatura em quatro resinas comerciais, que foram fotoativada com um aparelho LED e lâmpada halógena (QTH). As resinas compostas utilizadas foram: Tetric Ceram, Pertac II, Valux Plus e Degufill Mineral. Os aparelhos fotoativador utilizados foram: QTH Helilux GTE (600 mW/cm²), QTH Ellipar Highlight (100 mW/cm², 10 segundos; 700 mW/cm², 30 segundos) e um LED com 16 diodos com intensidade mínima de 120 mW/cm². Avaliaram o DC e o aumento da temperatura na superfície

e a 1 mm de profundidade nos espécimes. Da análise observaram que a conversão foi somente um pouco maior quando se utilizou o QTH com alta densidade de potência, que promoveu dobrar a temperatura quando comparado com a LED utilizada. O aumento de temperatura e o grau de conversão foram maiores na superfície do que a 1 mm de profundidade, independente da fonte de luz utilizada.

Kurachi et al., ainda em 2001, avaliaram a dureza de uma resina composta polimerizada por dois (L2 – 25 mW/cm²); três (L3 – 34 mW/cm²), quatro (L4 – 46 mW/cm²), cinco (L5 – 68 mW/cm²) e seis (L6 – 79 mW/cm²); LED azuis (Nichia Chemical Ind, 2000 MCD, Japão) e compararam com uma unidade de QTH (K&M, 200R, São Carlos, Brasil) de 475 mW/cm². As medidas de potência foram feitas por um medidor científico (Field Máster, Coherent, USA). A resina composta (Z100 cor A3) foi fotoativada por 20, 40, 60, 120, 180 segundos com cada base de LED e por 40 segundos com a lâmpada halógena. Foram preparadas 5 amostras de resina composta para cada grupo, com espessura de 0,35; 1,25 e 1,8 mm. Realizou-se a avaliação de dureza na superfície irradiada, por meio de três endentações para cada amostra. Todas as amostras polimerizadas por LED apresentaram dureza inferior, quando comparadas com aquelas polimerizadas pela lâmpada Halógena por 40 segundos. A unidade L6 foi a mais eficiente, no entanto, foram necessários tempos de exposição mais longos ou capas de resinas mais finas. Ao utilizar a L6 com 40 segundos de exposição para incrementos de 0.7 mm de espessura o número de dureza Vickers 100 foi obtido. Apesar de diferenças de irradiação quando comparadas com a QTH, a LED mostrou uma boa alternativa na polimerização de resinas compostas, principalmente porque quase a totalidade de energia emitida esteve dentro da extensão ideal da absorção para a canforoquinona.

Franco & Navarro, em 2002, avaliaram a profundidade de polimerização de diferentes resinas compostas de mesmo matiz, mas com diferentes cromas. Para a confecção dos corpos-de-prova, utilizou-se uma matriz de metal inoxidável bipartida com 10 mm de altura e 5 mm de diâmetro, confeccionando-se 5 espécimes para cada condição experimental. Avaliou-se um aparelho LED experimental em comparação aos aparelhos de lâmpada halógena Ultralux (Dabi Atlante) e Curing Light 2500 (3M – ESPE) nos tempos de ativação de 20 e 40 segundos. Com o propósito de verificar a intensidade dos aparelhos se utilizou um radiômetro comercial (Curing Fadiometer Model 100 P/N – 10503/ Demetron Research Corp.).

Utilizou-se uma faceta de esmalte dentário com uma espessura de 1,5 mm, com a finalidade de avaliar a possível influência da difusão da luz. Imediatamente depois da fotoativação dos espécimes e remoção da matriz, se retirou a porção de resina não polimerizada da superfície oposta à fonte de luz por meio de raspagem com instrumentos manuais. Os espécimes foram levados a um dispositivo desenvolvido pelo mesmo autor, o qual permite avaliar a resistência de penetração na superfície oposta à fonte de luz. Depois da remoção do espécime do dispositivo, se realizou a leitura do material polimerizado com especímetro. O sistema LED foi um método viável para a polimerização das diferentes resinas, tendo em conta que o tempo de 40 segundos, elevou a profundidade de polimerização das diferentes marcas comerciais de resina composta, para valores que se aproximam daqueles observados com os aparelhos de QTH com um tempo de 20 segundos. A interposição da faceta de esmalte reduziu de maneira geral a profundidade de polimerização independente do tipo de fonte de luz, pelo que se deve estabelecer um tempo mínimo de 40 segundos para a polimerização através da estrutura dentária. Não obstante, nas variações de profundidade de polimerização, os valores apresentados superam a espessura de 1 a 1,5 mm, recomendada na prática clínica tanto para o sistema de QTH como para o sistema LED.

Neves et al. , em 2002, realizaram um estudo que teve como objetivo, avaliar a correlação entre grau de conversão e microdureza em resinas compostas, e o efeito de conteúdo de partículas e do tipo de unidade fotoativadoras sobre esses parâmetros. Três resinas compostas (Artiglass®, Solidex®, Zeta LC®), foram polimerizadas em três diferentes unidades laboratoriais (UniXS®, Solidilite®, e unidade experimental). Para cada material quinze corpos-de-prova, foram confeccionados utilizando-se uma matriz metálica, os quais posteriormente submetidos às análises do grau de conversão, através da espectroscopia de infravermelho, e da microdureza. O conteúdo de partículas inorgânicas foi determinado por análise termogravimétrica (TGA) e o comportamento conjunto das variáveis, grau de conversão e microdureza (coeficiente de correlação de Pearson). Para a resina Artiglass® o grau de conversão variou de 37,5% a 79,2%, com valores de microdureza de 32,4 a 50,3 ($r=0,904$). Para a resina Solidex®, o grau de conversão variou de 41,2% a 60,4%, com valores de microdureza de 33,1 a 44,1 ($r=0,707$). Para a resina Zeta LC®, os valores de conversão e microdureza foram

respectivamente 62,0% a 78,0% e de 22,6 a 33,6 ($r=0,710$). Concluiu-se que o uso das diferentes unidades resultou em variações dos valores de conversão em função das características específicas de cada unidade. Para cada material uma forte correlação entre conversão e microdureza foi observada. Além disso, quando materiais diferentes foram comparados, observou-se que o conteúdo de partículas inorgânicas, afetou diretamente os valores de microdureza, não interferindo no grau de conversão.

Tarle et al., em 2002, avaliaram o grau de conversão e a elevação de temperatura das resinas compostas Filtek Z250 (3M – ESPE), Tetric Ceram (Ivoclar) e Pertac (ESPE) fotoativadas por um aparelho experimental à base de LED Blue Superbright (9 mW/cm²), com o aparelho de Arco de plasma Apollo 95E (DMC) (1370 mW/cm²) e com um dos aparelhos mais utilizados para a polimerização de resinas compostas, um aparelho convencional de lâmpada halógena Ellipar II (3M) (560 mW/cm²). O grau de conversão foi avaliado utilizando-se espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier e a elevação de temperatura foi determinada com o auxílio de um termopar tipo K conectado a um termômetro digital (N3850D) (Metex) inserido dentro da resina composta. As resinas compostas foram irradiadas entre 20 e 40 segundos com cada um dos aparelhos fotopolimerizadores. Os autores verificaram que o grau de conversão e a elevação da temperatura foram maiores quando o aparelho convencional de lâmpada halógena foi utilizado. O maior grau de conversão foi obtido pela resina composta Pertac II (ESPE) constituída por TEGDMA e EDGMA. O pico de elevação não ocorreu imediatamente, mas entre 10 e 15 segundos após o início da fotoativação. Os autores verificaram que os aparelhos à base de LED obtiveram a melhor distribuição espectral, dentro do espectro de absorção da canforoquinona, o que justificaria sua baixa intensidade de luz. Segundo os autores nenhum comprimento de onda abaixo de 430 nm e acima de 500 nm é utilizado para ativar o grupo cetona na canforoquinona. Os aparelhos de lâmpada halógena produzem luz branca a qual é filtrada com o intuito de remover os comprimentos de onda indesejáveis. Em alguns casos, o aparelho à base de LED Blue Superbright não foi capaz de polimerizar por completo incrementos de 2 mm de espessura, com exceção da resina composta Filtek Z250 constituída por UDMA e Bis-EMA que são monômeros de alto peso molecular e com poucas duplas ligações. Os autores verificaram que, a composição da resina Filtek Z250, permitiu que esse

material obtivesse maior efetividade de polimerização em apenas 20 segundos de fotoativação.

Cavina et al., no ano 2003, realizaram um estudo e verificaram que as forças geradas durante a polimerização das resinas compostas podem contribuir negativamente para o resultado final da utilização clínica desse material. O objetivo do trabalho foi determinar a intensidade da força de contração de polimerização de uma resina microhíbrida Filtek Z250 (3M – ESPE), utilizando-se como fonte fotoativadora um aparelho LED 500 mW/cm² com diferentes tempos de fotoativação (10, 20, 30 e 40 segundos). Concluíram que as forças de contração de polimerização não apresentaram diferenças estatísticas significantes nos tempos de 20, 30 e 40 segundos e seria necessária uma densidade de energia de 12 J/cm² para uma adequada polimerização da resina composta estudada.

Montenegro et al., em 2003, apontaram diversos fatores que influenciaram na qualidade final das restaurações de resinas compostas, dentre eles o aparelho fotopolimerizador utilizado, os autores avaliaram a intensidade de luz, emitidas por 170 aparelhos fotopolimerizadores utilizados no meio acadêmico e em clínicas particulares, por meio de um radiômetro (CL 150 – DMC), verificando resultados muitas vezes alarmantes. Observaram ainda as alterações em relação à intensidade de luz, em função da variação da distância entre a ponta ativa do aparelho fotopolimerizador e o radiômetro. Os autores concluíram que a distância entre a ponta ativa do aparelho fotopolimerizador e o material deve ser a menor possível. Distâncias maiores que 2 mm devem ser evitadas, porém quando isso for necessário, deve-se aumentar o tempo de fotoativação. Pois a luz dissipa-se proporcionalmente à medida que a distância se eleva ao quadrado. A presença do radiômetro no consultório é um fato negligenciado pelos profissionais, que se preocupam mais com a aquisição dos últimos materiais do mercado, esquecendo-se de averiguar a efetividade de seu aparelho fotopolimerizador.

Os autores Rodrigues & Neumann, em 2003, verificaram que a atividade no campo de polimerização continua a se expandir em muitas áreas e, recentemente, o interesse nos sistemas de fotoiniciação envolvendo a polimerização via radicais livres, iniciada por luz visível tem recebido atenção especial. Entretanto, pela determinação mais analítica os autores utilizaram métodos que permitiram estudar a cinética de fotopolimerização em tempo real através das técnicas de dilatométrica,

espectroscopia Raman, calorimetria e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier. Os autores concluíram que o desenvolvimento dessas metodologias contribuiu para o aprimoramento dos métodos que estudam em tempo real a cinética de polimerização, que ocorre em intervalos de mili segundos, ou pelo menos como avaliações relativas que permitiram determinações através de integrações da velocidade em um determinado tempo.

Santos, em 2003, avaliou a profundidade de polimerização do compósito Z250, submetidos à duas fontes de ativação, através do grau de conversão polimérica, analisado por meio de espectroscopia de micro-Raman e do número de microdureza Knoop. Foi avaliada também a correlação entre os dois métodos. Foram utilizadas duas unidades de fotoativação: Uma convencional de lâmpada halógena (Optilux 401 – Demetrom) e outra de LED (Ultraled – Dabi-Atlante). Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de uma matriz metálica, com dimensões em milímetros de 4,0 x 4,0 x 5,0. O compósito Z250 (3M – ESPE), foi inserido na matriz em bloco único e ativado por 40 segundos (n=5). Após armazenagem em ambiente escuro e seco (37⁰C / 24h), os espécimes foram levados ao espectrômetro de micro-Raman, onde foram realizadas varreduras na superfície irradiada e a 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 mm de profundidade. Também foi feito uma análise do espectro Raman do espécime não curado, para que fosse possível quantificar o grau de conversão. As mesmas amostras foram submetidas ao teste de microdureza Knoop, na superfície irradiada e a cada 0,5 mm até a profundidade de 5,0 mm. Os resultados mostraram que ocorreram quedas tanto no grau de conversão como no número de dureza Knoop à medida que aumentou a profundidade. A análise estatística dos dados evidenciou forte correlação entre os dois métodos avaliados, independente da fonte de ativação empregada.

Em 2003, Soh; Yap; Siow na intenção de estudar a efetividade de polimezação de uma resina composta associada a esta resina, diferentes tipos de fontes de luz e modos de ativação. Para isto, utilizaram uma resina micro-híbrida Filtek Z100 (3M – ESPE) em espécimes de 2 mm de espessura e de fontes fotoativadora do tipo LED (Ellipar Free Light - 3M – ESPE e GC e-Light-CG), de unidades de lâmpada halógena convencional (Max-Dentsply), de alta densidade de potência (Ellipar Trilight - 3M – ESPE) e de altíssima densidade (Astralis 10 - Ivoclar Vivadent). Foram adaptadas várias combinações de densidade e potência e tempo

de ativação para as diferentes fontes. A análise do grau de polimerização foi realizada para as diferentes fontes. Esta análise foi realizada por meio de microdureza Knoop na superfície e na base dos espécimes. Os resultados obtidos com esta prova mostraram que houve uma diferença significativa entre os valores de dureza encontrados na superfície e na base do material, tanto para as diferentes combinações de densidades de energia de uma mesma fonte de luz, como entre as fontes LED e halógena. A maioria das fotoativações com fontes de luz LED, apresentaram resultados inferiores à fonte de luz convencional (grupo controle), exceto para a Ellipar Free-Light (400 mW/cm²) quando foi exposta por 40 segundos, emitindo uma densidade de energia de 16 J/cm². Para as unidades de lâmpadas halógena de alta densidade, não houve diferença significativa em relação a fonte de luz convencional (Max), tendo a Ellipar Trilight valores superiores que esta em algumas condições experimentais.

No ano de 2003, Emani & Soderholm avaliaram a hipótese de que o grau de conversão de resinas compostas está mais relacionada à densidade de energia (mJ/cm²) do que a densidade de potência (mW/cm²). As resinas Z100 e Filtek Z250 foram fotoativadas com diferentes densidades de potência e vários tempos de exposição, com uma lâmpada halógena (Ellipar Trilight). Materiais restauradores com várias espessuras (2, 4 e 6 mm) foram utilizados, sendo que a porcentagem de conversão foi avaliada no ponto mais alto e na superfície destas resinas com espectroscopia Raman. Os tempos de exposição foram 5, 10, 20, 40, 60 e 140 segundos. As densidades de potência foram 200, 450 e 800 mW/cm². A porcentagem de conversão total variou de 60 a 65%. Os autores observaram um maior grau de conversão na resina Z250 comparada a Z100 e foi atribuído este resultado pela presença do monômero UDMA. As resinas compostas à base de UDMA são mais reativas do que as resinas à base de Bis-GMA. Ainda, na resina Z250 ocorreu a substituição de parte das moléculas de Bis-GMA por Bis-EMA, que se caracteriza por ser uma molécula mais comprida e mais flexível. Os autores mencionaram ainda que, ocorre uma menor proporção de duplas ligações na cadeia alifática em relação às duplas ligações dos anéis aromáticos. Monômeros menores com um maior número de duplas ligações na cadeia alifática são fatores relacionados a uma maior frequência de contração de polimerização na Z100. Os autores verificaram ainda que, a hipótese de que a conversão de monômeros estaria

mais relacionada à densidade de energia que a densidade de potência quando se avaliaram as diferentes espessuras da resina composta.

Delgado, em 2004, avaliou a microdureza superficial de quatro resinas compostas de cor extra clara quando fotoativadas com aparelho fotoativador de lâmpada halógena Curing Light 2500 (3M – ESPE) e o aparelho à base de LED Ellipar Free-Light (3M – ESPE). Paralelamente o autor determinou o espectro de emissão em (nm) e a potência (mW) dos aparelhos testados através do espectrômetro USB 2000 (Ocean Optics) e do Power Meter (Ophir). A intensidade de luz (mW/cm^2) foi calculada através do valor da potência dividida pela área da ponta ativa de cada aparelho fotopolimerizador ($i=P/A$). As resinas compostas utilizadas foram Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent) A2 e XL, Filtek Z250 (3M – ESPE) A2, B0,5, Charisma (Kulzer) A2 e SL e Esthet X (Dentsply) A2 e XL. Os corpos-de-prova foram confeccionados em matrizes metálicas com orifício central de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, armazenados por 24 horas ao abrigo da luz e submetido ao teste de microdureza Vickers através do microdurômetro MMT 3 (Buehler) com carga de 50 gramas durante 30 segundos. Segundo o autor, o espectro de emissão dos aparelhos à base de LED foi mais estreito do que dos aparelhos de lâmpada 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 superficial. A resina composta Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadente), cor XL atingiu porcentagem de polimerização inferior a 80%, independente do tipo de fonte utilizada. As cores A2 e XL da resina composta Charisma (Kulzer), não obtiveram porcentagens de profundidade de polimerização acima de 80% quando fotopolimerizada com aparelho à base de LED.

Yap et al., em 2004, avaliaram o efeito de diferentes fontes de luz e modos de fotoativação na densidade de cadeias cruzadas de resinas compostas. O desempenho de quatro lâmpadas halógena e (luz emitindo diodos) LED, foram comparadas através do teste de microdureza Knoop. Para os diferentes aparelhos foram utilizados também diferentes protocolos de fotoativação: contínuo (20 segundos a $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$; 40 segundos a $350 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 400 e $800 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 10 segundos a $1200 \text{ mW}/\text{cm}^2$), gradual (12 segundos a $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ + 28 segundos a $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$) crescente (de 0 a $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ + 20 segundos a $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$; 15 segundos com densidade de potência crescente de 100 a $800 \text{ mW}/\text{cm}^2$ + 25

segundos a 800 mW/cm²) e pulso intermitente (10 pulsos de 2 segundos de duração a 750 mW/cm²). Seis corpos-de-prova de resina composta foram confeccionados para cada combinação de modo de ativação e fonte de luz. A dureza Knoop da superfície em contato com a fonte de luz foi determinada, antes e depois do armazenamento em etanol à 75% e 37°C durante 24 horas, sobre uma aplicação de carga de 500 g, durante 15 segundos. O grau de amolecimento em etanol foi utilizado como indicador relativo da densidade de ligações cruzadas. Os corpos-de-prova fotoativados com densidade de potência extremadamente altas e com todos os métodos de fotoativação dos aparelhos LED resultaram em polímeros mais susceptíveis ao amolecimento em etanol. Para alguns aparelhos fotoativador, não se observou diferença entre os modos de ativação, enquanto que para outro aparelho; o modo contínuo; resultou em corpos-de-prova com maior densidade de ligações cruzadas.

New Blue, assim denominaram Uhl et al. em 2004, os aparelhos à base de LED de segunda geração que emitem alta intensidade de luz. Estes investigadores pesquisaram o desempenho de um aparelho protótipo à base de LED com alta intensidade de luz (901 mW/cm²) e um aparelho de lâmpada halógena convencional Polofil (Voco) com intensidade de luz de 860 mW/cm². O espectro de luz dos aparelhos foram medidos com o espectrômetro Tidas (J&M), e a potência dos aparelhos foi determinada com o Power Meter Molectron PM3 (Molectron Inc.). O desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores foi avaliado medindo a microdureza Knoop e a profundidade de polimerização de resinas compostas utilizando um microdurômetro HMV-2000 Shimadzu e um penetrômetro respectivamente. As resinas compostas selecionadas foram admira (Voco) cores A2 e A 3,5 fotoativadas por 40 segundos. A resina composta Revolcin Flow (Merz Dental), contém iniciadores, com absorção de luz com comprimento de onda abaixo de 410 nm. Para o ensaio de microdureza os corpos-de-prova foram confeccionados em matriz metálica, com 4 mm de diâmetro e 2 de profundidade. A matriz foi apoiada numa superfície escura e não reflexiva. Os corpos-de-prova foram armazenados à 37°C por 24 horas e submetido ao teste de prova de microdureza superficial, com carga de 200 g durante 10 segundos. Para o teste de profundidade de polimerização, os corpos-de-prova foram confeccionados em matriz metálica com 4 mm de diâmetro e 8 mm de profundidade. Após a polimerização os corpos-de-prova foram submetidos ao

teste de profundidade de polimerização utilizando um penetrômetro. Os autores verificaram que o aparelho de lâmpada halógena emitiu luz no espectro da luz ultravioleta, o que pode ser uma vantagem para resinas compostas que contêm fotoiniciadores excitados num comprimento de onda de 410 nm e uma desvantagem para o paciente e para o cirurgião dentista, pois causa danos na visão e lesão na pele. O protótipo alcançou maior profundidade de polimerização que o aparelho de lâmpada halógena em todas as resinas compostas avaliadas. Não houve nenhuma diferença na dureza Knoop para as resinas compostas Z100 e admira, quando polimerizadas com o protótipo ou com o aparelho de lâmpada halógena. Porém a resina composta Revolcin Flow mostrou menor microdureza Knoop quando polimerizadas com aparelho à base de LED, pela presença de outros iniciadores, além da canforoquinona. A resina composta Z100 (3M) apresentou os maiores valores de microdureza Knoop, por apresentar maiores partículas de carga, e dessa forma os autores verificaram que, quanto maior as partículas de carga, maior a dureza da resina composta. Os resultados demonstraram que, os aparelhos à base de LED; de segunda geração; tem o potencial para substituir os aparelhos de lâmpada halógena.

Asmussen & Peutzfeldt, em 2005, analisaram dois objetivos neste estudo. Primeiro avaliaram a elevação de temperatura produzida pela luz emitida de dez aparelhos à base de LED e três aparelhos de lâmpada halógena. Segundo, relacionaram a esta elevação de temperaturas geradas pela intensidade de luz desses aparelhos fotopolimerizadores. Os aparelhos de lâmpada halógena investigados foi um aparelho convencional XL3000 (3M – ESPE) e dois aparelhos com alta intensidade Optilux 501 (Kerr) e Ellipar Highlight (3M – ESPE). Os aparelhos fotopolimerizadores à base de LED investigados foram: Aqua blue (Toesco), Coolblue (Dental Systems), Dio-Power (CMS), Ellipar Freelight (3M – ESPE), Ellipar Freelight 2 (3M – ESPE), LE Demetron1 (Kerr), Lux-O-Max (Akeda), Lux-O-Max P1 (Akeda), Smart-Lite (Dentsply), UltraLume LED2 (Ultradent). A intensidade de luz dos aparelhos foi registrada com um radiômetro manual da Demetron. A resina composta Tetric Ceram (Ivoclar) foi inserida numa matriz de PTFE com 4 mm de diâmetro e 4 mm de altura e no interior da resina composta foi inserido um termopar conectado a um galvanômetro (Radiometer Copenhagen). A resina composta foi irradiada durante 40 segundos. Os resultados demonstraram

que a temperatura aumentou com o aumento da intensidade de luz emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores. Os dois aparelhos de lâmpada halógena de alta intensidade de luz Optilux 501 (Kerr) e Ellipar Highlight (3M – ESPE) obtiveram os maiores valores de elevação da temperatura na resina composta, quando comparado com os aparelhos à base de LED com a mesma intensidade de luz. Os autores concluíram que somente os aparelhos à base de LED de primeira geração, induziram menor elevação de temperatura devido à menor intensidade de luz emitida.

Pires, em 2005, avaliou a eficiência de dois sistemas de fotoativação de resinas compostas, diodos emissores de luz (LED) e à base de lâmpada halógena, e verificou se existe correlação entre a eficácia desses sistemas e a intensidade de luz (mW/cm^2) produzida pelos mesmos. O método utilizado foi o teste de dureza em amostras de um compósito híbrido fotoativável (Z100, 3M – ESPE, cor A3). Foram selecionados 26 aparelhos fotoativadores, sendo 18 à base de LED e 8 à base de lâmpada halógena. Para aferir a intensidade de luz emitida pelos aparelhos, foi utilizado um radiômetro (Demetron, modelo 100). Cada espécime ($n=5/\text{aparelho}$) foi confeccionado com o auxílio de uma matriz metálica, constituída por duas partes chamadas de hemimatrizes inferior e superior, cada uma com 2 mm de espessura e orifício central com diâmetro de 5 mm. Sobre a hemimatriz inferior preenchida com resina, era colocado um pedaço de tira de poliéster, sobre o qual, com uma lâmina de vidro, era exercida uma pressão para promover uma superfície lisa e plana. Posicionava-se então a hemimatriz superior e, após seu preenchimento, colocava-se um outro pedaço de tira de poliéster, e nova pressão era exercida com a lâmina de vidro. A fotoativação era efetuada durante 40s com a ponta ativa de uma das unidades fotoativadoras, mantida em contato com a tira de poliéster, colocada sobre a hemimatriz superior. Assim, cada espécime era composto de duas partes, uma superior e outra inferior, cada uma com 2 mm de espessura. Dez minutos após a fotoativação, as hemimatrizes inferior e superior eram separadas e realizavam-se 5 impressões de dureza Knoop (dureza inicial), com carga de 100 g durante 10 s, em cada uma das 4 superfícies, que eram: 1ª) metade superior do espécime, voltada para a fonte de luz (topo); 2ª) metade superior do espécime, oposta à fonte de luz (2 mm-s, antes da tira de poliéster); 3ª) metade inferior do espécime, voltada para a fonte de luz (2 mm-i, depois da tira de poliéster), e 4ª) metade inferior do espécime,

oposta à fonte de luz (4 mm de profundidade ou base). Após 7 dias de estocagem numa estufa a 37°C, novas leituras de dureza eram realizadas (dureza final). Verificou-se que: 1) houve aumento da dureza da medição imediata para a de 7 dias estocadas; 2) os valores de dureza decresceram com o aumento da profundidade; 3) o uso de um radiômetro é importante para aferir os aparelhos fotoativadores, visto que todos emitiram intensidades de luz menores que a informada pelos fabricantes; 4) a melhor profundidade para avaliação da eficiência de aparelhos fotoativadores é a de 2 mm, que é a espessura indicada para que ocorra uma polimerização adequada; 5) dentre os 26 aparelhos pesquisados pode-se identificar 5 grupos distintos, assim divididos a partir dos melhores resultados: I) LED com intensidade de luz de 350 a 800 mW/cm²; II) LED de 250 a 330 mW/cm² e halógena de 340 a 500 mW/cm²; III) LED de 170 a 210 mW/cm² e halógena de 220 mW/cm²; IV) LED de 120 a 140 mW/cm²; e V) halógena de 600 mW/cm². Esses resultados permitem concluir que: 1) a eficiência das unidades fotoativadoras, tanto para os sistemas à base de lâmpada halógena como à base de LED, está principalmente relacionada com a intensidade de luz, visto que os aparelhos que apresentaram melhor desempenho foram os de maior potência, independentemente da fonte utilizada; 2) é de fundamental importância que os fabricantes de aparelhos fotoativadores informem o comprimento de onda emitido, e que os dentistas clínicos e pesquisadores certifiquem e monitorem a intensidade de luz emitida por esses aparelhos. Da mesma forma, os fabricantes de resina composta e de outros materiais poliméricos foto-sensíveis deveriam informar tanto a energia necessária para que ocorra uma eficiente polimerização, como o tipo de substância foto-sensível utilizada na composição de seus materiais.

Bala; Ölmez; Kalayci, em 2005, avaliaram a profundidade de polimerização de algumas resinas compostas polimerizadas com fontes de luz halógena e LED. Foram confeccionados espécimes com dimensões de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, com as resinas (Esthet-X e Filtek Z250), resinas condensáveis (Filtek P60, Prodigy, Surefil, Solitaire) e a resina Admira. Os materiais foram fotoativados por 40 segundos com as fontes de luz Hilux Ultra Plus (600 mW/cm²) e a LED Eljar Free Light (400 mW/cm²) e em seguida, foram submetidos à prova de profundidade de polimerização com espectroscopia infravermelho. Os resultados deste estudo mostraram que a LED, de forma geral, teve melhor alcance de polimerização ao ser

comparada com a fonte convencional, sendo seu maior valor de 61% de polimerização e a de fonte halógena 55%. Sendo assim os autores podem concluir que, a tecnologia com fonte de luz LED de alta densidade de potência apresentam vantagens em comparação à lâmpada halógena, mesmo quando sua densidade total é menor que a lâmpada halógena devido a que existe uma menor concentração de luz emitida na região espectral de interesse para a polimerização dos materiais resinosos.

Em 2005, Correr observou em sua tese de mestrado que durante o processo de polimerização, o compósito sofre contração e, dependendo da velocidade da reação, essa contração pode gerar grande tensão na interface dente-restauração, promovendo o aparecimento de fendas e conseqüente falha da restauração. Além disso, para que o compósito apresente propriedades mecânicas adequadas, é necessário que ele atinja alto grau de conversão. O grau de conversão depende da quantidade de energia que é fornecida ao compósito, embora o efeito da densidade energética nas propriedades mecânicas dos compósitos ainda não seja bem evidenciado. Visando o melhor entendimento dos métodos de fotoativação sobre as propriedades finais dos compósitos restauradores odontológicos, este estudo foi dividido em dois trabalhos: O primeiro avaliou o efeito do aumento da densidade energética pelo maior tempo de exposição, mantendo-se a mesma intensidade de luz, sobre a dureza Knoop dos compósitos Z250 e Esthet-X, fotoativados por luz de lâmpada halógena (QTH) - XL2500, luz emitida por diodo (LED) Ultrablue Is ou arco de plasma de Xenônio (PAC) Apollo 95E. Os resultados mostraram que o aumento da densidade energética, produziu maiores valores de dureza Knoop quando utilizado LED ou PAC. Para QTH não houve diferença significativa. Em relação às fontes de luz, o PAC apresentou menores valores de dureza Knoop quando comparado ao LED e QTH, que não diferiram entre si. Menores valores de dureza Knoop foram encontrados em maiores profundidades dos compósitos. O segundo trabalho verificou a influência da relação intensidade de luz versus tempo de exposição, utilizando a mesma densidade energética, sobre a dureza Knoop dos compósitos Z250 e Esthet-X, fotoativados por QTH, LED e PAC. Os resultados mostraram que independente do compósito e da fonte de luz, os grupos fotoativados por intensidade de luz e tempo de exposição intermediário apresentaram as maiores médias de dureza Knoop em camadas profundas. A relação dureza da base/dureza

da superfície mostrou que o compósito Z250 apresentou adequada polimerização até 3 mm quando foi fotoativado por QTH e LED, e até 2 mm para PAC. O compósito Esthet-X apresentou adequada polimerização até 3 mm quando foi fotoativado por luz halógena e até 2 mm para LED e PAC

Price et al. em 2005, compararam o desempenho de uma fonte de luz fotoativadora LED de alta densidade de potência e uma fonte de luz halógena. Foram confeccionados preparos classe I de 4 mm em dentes humanos e restaurados com dez resinas compostas diferentes. As resinas compostas foram fotoativadas durante 10, 15 e 20 segundos (50%) ou 20, 30 e 40 segundos (100%) do tempo recomendado pelo fabricante para fontes LED; e durante 100% do tempo recomendado pelo fabricante para fonte de luz halógena, tanto em alta (~ 900 ou 1300 mW/cm²) ou metade (500 mW/cm²) densidade de potência. A dureza knoop foi medida depois de 15 minutos, a 3,5 mm de profundidade. Quando a fotoativação seguiu os tempos recomendados pelo fabricante à dureza Knoop se manteve por cima de 80% de dureza máxima, para os diferentes materiais pesquisados, até uma profundidade de 1,5 mm. A interação entre as fontes de luz, profundidade de polimerização e resina composta foram significantes. Para eliminar o fator resina composta, foi feita uma comparação das fontes de luz avaliadas pelo ordenamento dos valores de dureza. O aparelho LED, utilizado pelo tempo recomendado pelo fabricante, foi considerado melhor na fotoativação das resinas compostas, para profundidade de até 3 mm. Não houve diferença na dureza Knoop dos materiais avaliados quando a LED foi utilizada por 50% do tempo recomendado pelo fabricante ou quando o aparelho de luz halógena foi utilizado por 100% do tempo recomendado, em alta densidade de potência.

Calheiros et al., em 2006, verificaram a influência da densidade de energia que denominaram exposição radiante, no estresse de contração, grau de conversão e propriedades mecânicas das resinas compostas. Duas resinas foram fotoativadas de modo contínuo a 600 mW/cm², totalizando 6, 12, 23 e 36 J/cm² de energia. A tensão de contração foi monitorada durante 10 minutos. O grau de conversão foi determinado na superfície dos corpos-de-prova que foram fotoativados. Corpos-de-prova em barra foram submetidos à provas de flexão de três pontos, afim de determinar o módulo flexional e a resistência. Para a resina Filtek Z250, não se observou aumento na tensão de contração com a utilização de energia superior a 12

J/cm². O grau de conversão e o módulo de flexibilidade foram similares para todos os níveis de energia estudados, enquanto que a resistência flexional aumentou significativamente, entre 6 e 24 J/cm². Registrou-se uma diferença entre a dureza Knoop e os diferentes níveis de energia, exceto entre 12 e 24 J/cm². Para a resina Heliomolar, a tensão de contração e a dureza aumentaram significativamente com o aumento do nível de energia, exceto entre 24 e 26 J/cm². O grau de resistência e módulo flexional não teve variações, independentemente do nível de energia utilizado. Os autores destacaram o distinto comportamento que tiveram os diferentes materiais utilizados neste trabalho. A tensão de contração e a dureza se mostraram mais sensíveis ao aumento da densidade de energia, comparada com as outras propriedades estudadas. A resistência flexional sofreu alteração somente para uma das resinas compostas utilizadas, enquanto que o grau de conversão e o módulo flexional não foram afetados pelos diferentes níveis de energia para ambas resinas utilizadas neste estudo.

Benetti em 2007 realizou uma avaliação clínica e laboratorial de uma resina composta em função da fotoativação com diferentes fontes de luz e densidades de potência. O grau de conversão foi determinado através da espectroscopia transformada de Fourier. O grau de amolecimento em etanol foi obtido pela determinação da dureza Wallace, antes e depois do armazenamento da resina composta em etanol a 75%. O desgaste foi medido por dois métodos: a prova de ACTA e a prova de escovação simulada. Paralelamente se pesquisou o desempenho clínico das restaurações de resina composta em dentes posteriores submetidos aos mesmos protocolos de fotoativação. Foram elaboradas restaurações classe I de resinas e fotoativadas com lâmpadas de quartzo tungstênio e luz emitindo diodo a 300 mW/cm², durante 40 segundos e a 600 mW/cm², durante 20 segundos. As restaurações foram avaliadas imediatamente e depois de 6 e 12 meses. Neste estudo os protocolos de fotoativação utilizados com lâmpada halógena e LED com densidade total de energia (12 J/cm²), não comprometeram as características da resina composta Z250 em termos do grau de conversão, grau de amolecimento em etanol e desgaste pelo método de ACTA. Logo de um ano de avaliação as restaurações de resina composta e o protocolo de fotoativação utilizando fontes fotoativadoras (300 mW/cm² e 600 mW/cm²) para uma mesma densidade de energia (12 J/cm²) se mostraram clinicamente aceitáveis.

Denis; Fernandes; Plepis, em 2007, avaliaram o grau de conversão monomérica em diferentes profundidades (1, 2 e 3 mm) e diferentes tempos de armazenagem (0 hora, 168 horas, 336 horas), após cura de uma resina composta (Z-100/3M – ESPE) fotoativada por uma fonte de luz LED (Ultrablue IS/DMC) por ativação gradual com intensidade crescente, por 40 segundos (250 a 600 mW/cm²). O grau de conversão foi avaliado por meio de FTIR, os corpos-de-prova foram triturados e posteriormente prensados com K Br. Os resultados foram avaliados pelo teste estatístico ANOVA e com base neste, foi possível observar que não houve diferença estatística significativa em relação à profundidade e tempo de armazenagem dos corpos-de-prova ($p < 0,05$). Concluíram que: a profundidade de polimerização, conseguida com o aparelho e método utilizado não possui diferença estatística significativa do primeiro ao terceiro milímetro e para o tempo de armazenagem dos corpos-de-prova, o grau de conversão não teve diferença estatística significativa também, sendo que a conversão monomérica da resina composta ocorreu na presença da ativação física e não se alterou significativamente com o tempo.

Giorge; Dias; Paulillo, em 2008, realizaram um estudo para avaliar a microdureza Knoop (KHN) das superfícies de topo e base, de uma resina composta em função dos tempos de exposição de 20 e 40 segundos e das fontes de luz: LD 13 ponteira de cristal GG-Dent (LED 1) e GG 13 ponteira de fibra óptica- GG Dent (LED 2) e halógena Optilux Demetron (HAL). As amostras foram confeccionadas em matriz metálica possuindo perfuração central ($d=5$ mm, $h=3$ mm). O compósito (Z250 – 3M – ESPE) foi inserido na cavidade em dois incrementos e as amostras ($n=5$) foram confeccionadas de acordo com os grupos experimentais G1 LED 1/20; G2 LED 2/20; G3 TQH/20; G4 LED 1/40; G5 LED 2/40; G6 QTH/40. Imediatamente após a confecção das amostras realizou-se o ensaio KHN com carga de 250 g por 10s. Executou-se 15 perfurações na superfície das amostras (topo e base). Os dados foram submetidos à Análise de variância ANOVA e ao teste de comparação múltipla de Tukey obtendo-se os seguintes resultados: G6/F 53,12^a; G3/F 51,589abc; G6/T 50,972abc; G3/T 48,803bc; G4/F 47,504cd; G5F 46,088cd; G5/T 44,495d; G4/T 43,884d; G1/F 39,341e; G2/T 35,300ef; G1/T 37,296ef; G2/F 34,788f. Concluíram que a lâmpada halógena apresentou os maiores valores de microdureza Knoop com comportamento semelhante com as LED no tempo de 40 s.

Ganime et al., em 2008, avaliaram a influência das fontes fotoativadoras LED e halógena na microdureza Knoop da resina composta Z250 (3M – ESPE) na cor A3 em três profundidades distintas. Para tanto foram confeccionadas 20 cavidades classe I em terceiros molares humanos, separados em dois grupos (n=10). As cavidades foram preparadas nas dimensões 3 x 4 x 3 mm e as restaurações foram confeccionadas em três incrementos oblíquos, sendo a fotoativação de cada incremento realizada com 20 segundos em modo contínuo para fonte halógena ou 60 segundos para fonte LED (10 segundos em modo pulsante e 50 segundos em modo contínuo). Em seguida as amostras foram armazenadas por sete dias em 100% de umidade relativa na temperatura de $37^{\circ}\text{C} \pm 1$ dia. Após o período de armazenagem, as coroas foram seccionadas no sentido mésio-distal em cortadeira metalográfica. As raízes foram seccionadas logo abaixo da junção cimento-esmalte e perpendicularmente ao longo eixo do dente, sendo então descartadas. As hemicoroas foram incluídas em resinas de poliestireno e a superfície que continha a restauração recebeu acabamento com lixas de óxido de alumínio e polimento com disco de feltro. O ensaio de microdureza Knoop foi realizado com carga de 250 g durante 20 s. Foram realizadas 15 penetrações em cada hemicoróia, sendo 5 em cada profundidade estudada. Os dados foram transformados em número de dureza Knoop (KHN), submetidos à análise de Variância e comparados pelo teste de Variação Múltipla de Tukey (5%). Os resultados obtidos revelaram que não houve diferença estatística significativa entre as profundidades estudadas. A maior média de dureza obtida foi com a fonte LED (82,98), apresentando diferença estatística significativa com a fonte halógena (61,27). Pode-se concluir que a densidade de energia dos aparelhos influenciou nos resultados de dureza obtidos.

Schneider LFJ et al., em 2008, realizaram um estudo sobre o aumento da temperatura e a dureza do compósito promovida por fontes de luz halógena (LX2500 3M – ESPE) e LED (Freelight – 3M – ESPE, LED Ultrablue Is DMC e LED Cool Blue Wand – Milestone Scientific).

A irradiância (mW/cm^2) foi aferida com um medidor de potência e o espectro de luz obtido com um espectrômetro. O aumento da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) foi registrado utilizando um termopar conectado a um termômetro digital, durante a fotoativação do compósito Filtek Z250 (3M – ESPE). Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey ($\alpha=0,05$). A dureza Knoop foi avaliada em diferentes profundidades do

compósito (20, 100 e 1980 μm) e os dados submetidos à ANOVA de dois critérios, com parcelas subdivididas, e teste de Tukey ($\alpha=0,05$). A correlação entre irradiância e aumento de temperatura foi investigada pelo teste de Pearson. Todas as fontes de luz apresentaram 95% de irradiância concentrada entre 400 – 515 nm. Médias para aumento de temperatura variaram entre $1,05 \pm 0,16$ e $2,74 \pm 0,27$. O LED Cool Blue apresentou aumento significativo de temperatura que as demais fontes de luz, e a QTH promoveu aumento significativo de temperatura comparada aos LED Ultrablue Is e Freelight. Correlação significativa entre irradiância e elevação de temperatura foi detectada ($r=0,867$; $p<0,001$). Médias de dureza (Kg/mm^2) variaram entre $40,1 \pm 3,6$ e $92,7 \pm 6,6$. Amostras ativadas pelo LED Freelight apresentaram dureza significativamente menores que amostras ativadas pelas demais fontes de luz.

Dalli'Magro et al., verificou em 2008, a resistência de união e a dureza Knoop do compósito Z250 (3M – ESPE), fotoativado com luz de lâmpada halógena (XL2500, 3M – ESPE), utilizando diferentes protocolos: modo contínuo de alta intensidade (CH 700 mW/cm^2) por 20 s; modo contínuo de baixa intensidade (CL 150 mW/cm^2) por 20s; pulse-delay com 150 mW/cm^2 por 2(P2), 3 (P3), 5 (P5), 10 (P10) ou 15 (P15) segundos, com 1 min de espera, seguido por 700 mW/cm^2 por 20s. Para o teste de união push-out ($n=10$), os valores de resistência de união foram obtidos em máquina de ensaio universal Instron. Para o ensaio de dureza Knoop ($n=5$) os espécimes foram fotoativados pelos mesmos protocolos utilizados no ensaio de resistência de união. As medidas de dureza foram realizadas em um microdurômetro (Shimadzu) em 6 profundidades (topo 1, 2, 3, 4 e 5 mm). Os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey com nível de significância de 5%. Os resultados mostraram que P5 e CL apresentaram resistência de união estatisticamente superior a todos os grupos, não houve diferença entre os grupos P2, P3, P10 P15 e CH. Para dureza Knoop, CH apresentou os maiores valores, estatisticamente superiores a P2 e CL até 4 mm. A partir de 3 mm, a dureza de todos os grupos foi inferior a dureza de topo. O tempo de exposição inicial para o modo pulse delay pode influenciar a resistência de união e a dureza Knoop.

Em 2009, Barreto analisou em sua tese de mestrado, a dureza Knoop de uma resina composta: influência da fotoativação por luz halógena ou LED, do tempo de armazenagem e do local de medição; foi realizado com o objetivo de investigar a influência do local de medição, do tempo decorrido após a fotoativação e do tipo de

aparelho utilizado nos valores de dureza Knoop de uma resina composta. Para este propósito, a resina composta Filtek Z250 – UD (3M – ESPE) foi utilizada. Preparou-se 40 amostras cilíndricas com 6 mm de diâmetro e 2 mm de espessura em uma matriz de aço. As amostras foram fotopolimerizadas com um aparelho de quartzo tungstênio halógeno (QTH) – XL 2500 (3M – ESPE) e por um diodo emissor de luz (LED) – Ultrablue Is (DMC) com densidades de potência distintas (600 e 500 mW/cm² respectivamente) cujas densidades de energia foram padronizadas. As amostras foram armazenadas de 37±1°C por 1h, 24h, 7 dias e 30 dias em água deionizada. Metade das amostras de cada grupo foi desgastada e as leituras de dureza Knoop foram realizadas no centro das amostras, 100 µm distantes das superfícies de topo, e base. Na outra metade as leituras foram realizadas no topo e na base das amostras sem que estas fossem seccionadas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando um nível de significância de 5%. O local de leitura não influenciou os valores de dureza Knoop; as amostras atingiram valores de dureza no máximo de 24 h após a fotoativação, exceto para as leituras no interior das amostras fotoativadas com LED que atingiram sua dureza máxima com 7 dias e o tipo de luz fotoativadora pouco influenciou os resultados.

3 PROPOSIÇÃO

3 PROPOSIÇÃO

3.1 OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a microdureza de corpos-de-prova de resina composta com espessuras de 1 e de 2 mm e diâmetro de 5 mm, na superfície fotoativada e no lado oposto. Verificando-se a eficiência da polimerização estabelecida com aparelhos do tipo LED e fonte de luz halógena, com diferentes intensidades de luz e tempos de polimerização em função dos valores de densidade de energia luminosa.

3.2 HIPÓTESE

- Quanto maior a densidade de energia luminosa irradiada, maiores serão os valores de microdureza.
 - Quanto maior a profundidade de polimerização, menor será o valor de microdureza.
 - Existem diferenças entre a densidade de energia luminosa requerida para uma polimerização adequada, com fontes de luz halógena e LED.
-

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e os métodos utilizados para a realização desta pesquisa. Para melhor compreensão, primeiramente serão descritas as características do material restaurador utilizado e dos aparelhos fotopolimerizadores testados e os seus fundamentos físicos. Em seguida uma avaliação das especificações dos aparelhos fotopolimerizadores como comprimento de onda, potência e intensidade de luz. Assim como a microdureza superficial da resina composta micro-híbrida, por meio do teste de microdureza Knoop e avaliação da capacidade de polimerização dos aparelhos fotopolimerizadores testados, apresentados nos seus sub-itens 4.1 ao 4.4.

4.1 MATERIAIS

Foi utilizada uma resina composta: Filtek Z250 (cor A3), 3M – ESPE – Co, Minnnessota, USA, selecionada para a realização dessa pesquisa e ilustrada na Figura 1, que apresenta as características de uma resina composta micro-híbrida. De acordo com o perfil técnico as partículas inorgânicas são constituídas por partículas sintética de zircônia-sílica, o tamanho médio das partículas variam entre 0,01 e 3,5 μm , com percentual de carga de 60% em volume. A matriz orgânica é composta pelos monômeros Bis-GMA, Bis-EMA e UDMA e apresenta um fotoiniciador a canforoquinona.

Figura 1 – Resina composta Filtek Z250 - 3M – ESPE – Co, Minnnessota, USA.

4.1.1 Reação de fotopolimerização da resina composta

Sistema Iniciador: Segundo as informações recebidas do fabricante da resina composta selecionada, esta apresenta como fotoiniciador a canforoquinona, que é uma dicetona e tem uma faixa de absorção de luz entre 450 e 500 nm, com pico em torno de 465 nm (RUEGGEBERG 1999).

As resinas compostas ativadas por luz visível, iniciam um processo de polimerização em cadeia, através da absorção da luz pelo iniciador (geralmente uma dicetona), que uma vez ativado reage com um agente redutor (amina alifática) para produzir radicais que se unem à molécula do monômero, tornando-o ativo. A ligação insaturada do monômero se abre, e age sucessivamente sobre as outras moléculas do monômero formando em segundos, uma macromolécula de ligações cruzadas (PHILLIPS 1993; RODRIGUES & NEWMANN 2003). Na polimerização em cadeia existem 3 processos cinéticos: Iniciação, Propagação e Terminação.

Iniciação: Os fótons de energia luminosa, num comprimento de onda em torno de 450 – 500 nm, que tocam a resina composta, ativando o iniciador. O iniciador depende de um co-iniciador para a transferência de elétrons e a formação de radicais livres (R^*), caso contrário a resina composta demoraria muito para realizar a polimerização. O co-iniciador é uma amina terciária que não absorve luz, mas interage com a canforoquinona quando ela está excitada (quebra das suas ligações). O radical livre é uma molécula extremamente energética com um elétron sem par e necessita formar uma ligação covalente com um outro composto, que pode ser a ligação dupla ($C=C$) presente nos monômeros (M), formando as espécies iniciadoras da cadeia (M^*).

Propagação: quando o radical livre reage com a primeira unidade de monômero ($C=C$), ocorre a formação de um complexo radical-monômero (M^*), que procura fazer mais ligações com outros monômeros, ou seja, uma reação em cadeia com o crescimento rápido de (M^*), por adições sucessivas de moléculas de monômeros (M) através de ligações cruzadas formando uma rede tridimensional até a formação do polímero (PEUTZFELDT 1997; RODRIGUES & NEWMANN 2003).

Terminação: a reação terminará quando dois macro-radicaís (M^*) colidirem, ou seja, quando as extremidades ativas de duas cadeias que se propagam reagirem entre si e se ligarem em uma reação bimolecular para formar uma única molécula mais reativa, terminando o crescimento da cadeia (PHILLIPS 1993; RODRIGUES & NEWNANN 2003; LOGUERCIO 2007).

4.2 APARELHOS FOTOPOLIMERIZADORES

Para ativação da resina composta foram utilizados três aparelhos fotopolimerizadores:

1. Fonte de luz de lâmpada halógena: Degulux – Degussa - USA 600 mW/cm² - 12 Voltz/80 Wattz - Filtros ópticos de saída de luz 400 a 520 nm (Figura 4).
2. Aparelho de LED: Ultraled XP (Dabi Atlante – Brasil) 150 mW/cm² (Figura 5).
3. Aparelho de LED: Ultrablue-IS (DMC - Brasil) 300 mW/cm² e 600 mW/cm² (Figura 6).

Para o melhor entendimento do funcionamento desses aparelhos são necessários alguns fundamentos físicos da fotoativação, que serão explicados a seguir.

Fundamentos físicos: espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é um mapa da distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. Em física, comprimento de onda é a distância entre dois picos de onda eletromagnética e o nanômetro é a unidade de medida mais utilizada para determinar o comprimento de onda (Figura 2). A frequência indica o número de

revoluções (ciclos, voltas, oscilações, etc.) por unidade de tempo e como unidade de medida utiliza-se o Hertz (Hz) (EWEN et al. 1996).

Figura 2 – O espectro eletromagnético, com os comprimentos de onda das diferentes radiações.

O espectro eletromagnético engloba o intervalo completo das radiações eletromagnéticas, contendo desde as ondas de rádio, as micro-ondas o infravermelho, a luz visível, os raio ultravioleta, o raio X e até a radiação gama (RUEGGERBERG 1999).

Espectro visível é a porção do espectro eletromagnético cuja radiação pode ser captada pelo olho humano (Figura 3). Identifica-se esta radiação como sendo a luz visível, ou simplesmente luz. A luz é composta de várias partículas pequenas denominadas de fótons e são as unidades fundamentais da luz. Esta faixa de espectro situa-se entre a radiação ultravioleta e o infravermelho (Figura 2). O espectro visível pode ser subdividido por cor de acordo com a frequência da luz, como o vermelho, nos comprimentos de onda longos e violeta para os comprimentos

de onda mais curto. Os comprimentos de onda da radiação visível estão compreendidos entre 400 e 700 nm (RUEGGEBER 1999).

Figura 3 – Esquema da luz com seus diferentes comprimentos de onda.

4.2.1 Aparelhos fotopolimerizadores de lâmpada halógena

Funcionamento da lâmpada halógena: Os aparelhos mais tradicionais que emitem luz visível são munidos de lâmpadas de quartzo - tungstênio – gás halogênio, também conhecidas como lâmpadas halógenas (RUEGGEBER 1999; JANDT et al. 2000). Uma lâmpada halógena utiliza um filamento de tungstênio, conectado a um circuito elétrico (RUEGGEBER 1999). A eletricidade aquece esse filamento a temperaturas extremamente altas, até que se torne incandescente e assim emita uma quantidade de luz visível, num processo denominado incandescência. Esse filamento de tungstênio fica encaixado em um invólucro de quartzo resistente ao calor. O gás, dentro do invólucro, consiste em um gás halógeno (inerte) com a função de evitar que o oxigênio se ligue com os átomos de tungstênio. Esse processo de reciclagem ou ciclo halógeno aumenta o tempo de vida útil do filamento. Uma vez interrompido esse ciclo, pode ocorrer falha da lâmpada (RUEGGEBER 1999). A lâmpada halógena está ilustrada na figura 4.

As lâmpadas halógenas produzem luz branca num comprimento de onda amplo com o pico de emissão entre 600 e 700 nm (TARLE et al. 2002), alcançando o

espectro infravermelho (RUEGGERBERG 1999). Essas lâmpadas não são capazes de produzir exclusivamente a luz azul. Porções não desejadas do espectro da luz visível devem ser filtradas e o calor dissipado com a incorporação de filtros e ventiladores (KURACHI et al. 2001). O sistema de filtros elimina 99,5% da energia total produzida pelas lâmpadas, pois somente 0,5% da energia total é utilizada para a fotoativação das resinas compostas (RUEGGERBERG 1999).

Os filtros são utilizados para remover comprimentos de ondas indesejáveis, desde os menores de 400 nm até os maiores que 500 nm (JANDT et al. 2000; KURACHI 2001). Dessa forma convertem luz branca em luz azul. O filtro também serve para absorver o aquecimento produzido pela radiação infravermelha, reduzindo o calor gerado pelos aparelhos fotoativadores que elevam a temperatura (ASMUSSEN & PEUTZFELDT 2005).

4.2.2 Aparelhos fotopolimerizadores à base de LED (Diodos emissores de luz)

Fundamentos físicos: Ao contrário da lâmpada halógena o LED não produz luz visível por aquecimento de filamentos metálicos incandescentes, mas por um diodo semicondutor sólido. Semicondutores são elementos que podem ser tratados quimicamente para transmitir e controlar uma corrente elétrica. Um exemplo são os semicondutores de silício. O cristal de silício é praticamente um isolante, pois pouquíssima eletricidade passa por ele. É possível alterar o comportamento do silício e transforma-lo em um condutor, dopando-o. Na dopagem, mistura-se uma pequena quantidade de impureza ao cristal de silício. Existem dois tipos de impurezas: tipo N, onde são adicionados elétrons, pois possuem carga negativa (daí o nome tipo N) e tipo P, quando misturados na treliça do silício, formam buracos ou lacunas na treliça e os elétrons do silício não tem onde se ligar. A ausência de elétrons cria o efeito de uma carga positiva (daí o nome tipo P).

Uma quantidade minúscula de dopagem tipo N ou tipo P leva um cristal de silício de bom isolante à um condutor viável, “mas não excelente”, daí o nome “semicondutor”. O diodo é composto por uma seção de material tipo N ligado a uma seção de material tipo P, por uma zona de transição chamada zona de depleção

(DELGADO 2004). O diodo é um semicondutor que apesar de não ser uma lâmpada, emite luz quando conectado a um circuito elétrico. É o mais simples dispositivo existente e de ampla aplicação na área da eletrônica. Existem diferentes tipos de diodos emissores de luz. A composição do semicondutor é que determina o comprimento de onda da luz emitida. Os diodos utilizados na odontologia para fotopolimerização de materiais resinosos são os diodos que emitem luz a um comprimento de onda de 450 a 490 nm (KURACHI et al. 2001).

Funcionamento do LED: Mesmo que o silício tipo N e o silício tipo P, sejam condutores a combinação não conduz eletricidade. Os elétrons negativos no silício tipo N são atraídos para o terminal positivo da bateria. Nenhuma corrente flui pela junção, pois as lacunas e os elétrons estão se movendo na direção errada, deixando a junção P-N vazia. Para que exista a passagem de corrente elétrica é necessário que os elétrons se movam da área tipo N para a área tipo P e que os buracos se movam no sentido inverso (DELGADO 2004; KURACHI et al. 2001). Para fazer isto se conecta o lado tipo N do diodo ao terminal negativo do circuito e o lado tipo P ao terminal positivo. Os elétrons livres no material tipo N são repelidos pelo eletrodo negativo e atraídos para o eletrodo positivo. Os buracos no material tipo P se movem no sentido contrário. O efeito disso é que a corrente flui pela junção. Os LED são montados em bulbos de plástico preenchidos com silicone gel (UHL et al. 2004), que concentra a luz em uma direção específica. Uma característica importante observada nessa radiação é que, ao contrário da lâmpada incandescente que apresenta uma frequência aleatória que se espalha pelo espectro, esta tem uma frequência bem definida dependendo do tipo de material empregado no semicondutor, podendo variar entre as cores vermelho, amarelo, verde e azul. O semicondutor de In-Ga-N (Nítrio de gálio e índio) utilizado por NAKAMURA et al. 1995, concentra a produção de luz azul (KURACHI et al. 2001) numa faixa estreita de comprimento de onda entre 425 e 475 nm, coincidindo com o pico de absorção da canforquinona que é o fotoiniciador geralmente encontrado na maioria dos materiais resinosos (JANDT et al. 2001).

4.3 RADIÔMETROS

Foram utilizados dois Radiômetros idênticos (Demetron Research Corporation USA), mostrados na figura 7, para se ter uma confirmação da exatidão das densidades de potência dos aparelhos fotopolimerizadores utilizados.

Figura 4 – Aparelho fotopolimerizador Degulux (Degussa – USA).

Figura 5 – Aparelho fotopolimerizador Ultraled (Dabi Atlante - Brasil).

Figura 6 – Aparelho fotopolimerizador Ultrablue-IS (DMC - Brasil).

Figura 7 – Radiômetros Demetron Research Corporation – USA.

4.4 AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL

A dureza relativa de uma substância está baseada na sua capacidade de resistir ao ato de ser riscada ou penetrada (PHILLIPS 1993).

O grau de polimerização da resina composta foi avaliado pelo teste de microdureza Knoop, que apresenta a característica do diamante piramidal, as indentações são pequenas podendo ser avaliadas áreas determinadas e restritas do corpo-de-prova (Figura 8). As avaliações são microscópicas e os testes não destrutivos.

Foi utilizado o microdurômetro (Shimadzu HMV-2 Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan), acoplado a um “software”, para análise das imagens, Cans-Win (New Age Industrie, USA), adaptado especificamente para a realização desse teste (Figura 9).

Figura 8 – Esquema da ponta do penetrador Knoop.

Figura 9 – Microdurômetro Shimadzu HMV-2 Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan.

4.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Seguindo os requerimentos da ISSO 4049, foram obtidos discos e cilindros da resina composta testada.

Os corpos-de-prova foram confeccionados com o auxílio de matrizes bipartidas de PTFE contendo um orifício central cilíndrico com 5 mm de diâmetro com 1 e 2 mm de espessura. A altura dos discos e cilindros de resina composta foi aferida com um paquímetro eletrônico digital série 727, Starret, Brasil. As duas partes da matriz estão contidas em um anel de cobre também de 1 e de 2 mm de espessura, para proporcionar maior estabilidade (Figura 10).

Figura 10 – Matriz bipartida de PTFE e anel de metal.

Foram confeccionados 120 corpos-de-prova, divididos em 24 grupos com 5 corpos-de-prova cada grupo, foram totalizadas 240 medições, 60 na superfície e 60 na superfície oposta do corpo-de-prova. Foi assentada a matriz de PTFE em uma tira de poliéster e esta sobre uma lâmina de vidro para microscopia (Figura 11). A resina composta Filtek-Z250 foi inserida em incremento único, com auxílio de espátula para resina composta nº 9 (Thompson Dental Manufacturing Company Inc., Missoure, USA), sendo esta moldada de acordo à matriz. Em seguida uma fita de poliéster foi adaptada sobre a superfície da resina para regular a espessura do material e permitir o contato direto com a ponteira do aparelho fotopolimerizador (Figura 12). A ativação foi realizada conforme os tempos determinados para os diferentes grupos.

Figura 11 – Cavity da matriz de PTFE preenchida com a resina composta e coberta com tira de poliéster e lâmina de vidro.

Figura 12 – Polimerização do corpo-de-prova.

4.6 POLIMERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

A polimerização foi realizada, utilizando-se aparelhos de fotoativação com fonte de luz obtida a través de uma lâmpada halógena (Degulux - Degussa) com

densidade de potência de 600 mW/cm², dois aparelhos de diodo emissor de luz (LED) de densidades de potência diferentes: Ultraled – Dabi Atlante com densidade de potência de 150 mW/cm² e Ultrablue IS – DMC, com densidade de potência de 300 mW/cm² e 600 mW/cm². Foram realizados 24 grupos com 5 corpos-de-provas cada, sendo 6 grupos ativados com luz de lâmpada halógena, 6 com aparelho LED com menor densidade de potência (150 mW/cm²), 6 com aparelho LED de média densidade de potência (300 mW/cm²) e os outros 6 com LED de maior densidade de potência (600 mW/cm²). Foi avaliado o índice de polimerização, através dos valores de microdureza, em função da densidade de energia luminosa em J/cm² de luz irradiada, dividida nas espessuras de 1 e de 2 mm (Tabela 1).

As densidades de energia estudadas foram respectivamente de: 8; 12 e 16 J/cm². Sendo assim, os tempos para cada fonte de luz foram obtidos da equação matemática (1).

$$\text{Tempo(s)} = \frac{\text{densidade de energia (J/cm}^2\text{)}}{\text{densidade de potência (mW/cm}^2\text{)}} \quad (1)$$

Tabela 1 – Fonte de luz / Densidade de energia luminosa* / Densidade de potência / Tempo.

Fonte de luz	Densidade de energia (J/cm ²)	Densidade de potência (mW/cm ²)	Tempo (s)
Halógena	8	600	13
Halógena	12	600	20
Halógena	16	600	26
LED	8	150	53
LED	12	150	80
LED	16	150	106
LED	8	300	26
LED	12	300	40
LED	16	300	53
LED	8	600	13
LED	12	600	20
LED	16	600	26

* Nesta tabela, a densidade de energia luminosa é o produto da densidade de potência pelo tempo, dividido por 1000.

4.7 TESTE DE MICRODUREZA KNOOP

No teste de microdureza em estudo foram avaliadas as propriedades mecânicas do material restaurador. Foi medida a microdureza da resina composta na área da superfície fotoativada e na porção mais profunda, por ser aquela região a que estará mais distante da fonte de luz quando será polimerizada.

Para a realização dos testes foram feitas impressões (endentações) nos corpos-de-prova dispostos da seguinte forma: inicialmente uma endentação na região superficial central do material (Figura 13), as outras endentações foram obtidas nos quatro pólos do corpo-de-prova (norte, sul, leste e oeste), com uma distância de aproximadamente 1.000 μm da lateral do bloco para se evitar trincas. Foi selecionado o penetrador tipo Knoop, o qual é o mais indicado para esse tipo de material odontológico pelas suas características mais plásticas, sendo a carga estática determinada em 300 g por 5 segundos.

As diagonais que foram obtidas na imagem que foram formadas pela endentação no corpo-de-prova foram medidas em milímetros e posteriormente transformadas em número de dureza Knoop (KHN - Kgf/mm^2), considerando a tabela adequada para a carga e o tempo que foi utilizado.

Figura 13 – Marca em um corpo-de-prova de resina composta, feita pelo penetrador tipo Knoop.

4.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Uma vez obtidos os resultados foi realizado um estudo, para compará-los realizou-se uma análise estatística, aplicando-se o teste de análise de variância (ANOVA), seguidos de Testes de Tukey para comparações entre os grupos, adotando um nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS

5 RESULTADOS

Os resultados originais da dureza Knoop para os cinco corpos-de-prova de cada condição específica estão apresentados na tabela 2; para melhor compreensão destes resultados, foi construído o gráfico que compõe a figura 14.

A tabela 3 é composta pelas médias aritméticas dos resultados da tabela 2, acompanhadas pelos respectivos desvios-padrão, e também serve para uma melhor compreensão do conjunto dos resultados.

Uma primeira análise de variância, a quatro critérios, foi realizada com base nos dados da tabela 2; seus resultados são apresentados na tabela 4, que englobou todas as 24 condições específicas. Foi detectado que não houve diferença significativa (sempre com $p < 0,5$) apenas em 3 conjunções de fatores: 1- fonte de luz x superfície/base do corpo-de-prova (fatores 1 x 4), 2- densidade de energia luminosa x espessura x superfície/base do corpo-de-prova (fatores 2 x 3 x 4) e 3- fontes de luz x densidade de energia luminosa x espessura x superfície/base do corpo-de-prova (fatores 1 x 2 x 3 x 4). Todos os demais fatores e suas demais combinações mostraram diferenças significantes.

Como ocorreram muitas interações dos fatores estudados, torna-se extremamente difícil generalizar todas as comparações possíveis. Por isto, decidiu-se efetuar um teste de Tukey para os dados do topo e outro para os dados da base, assim sendo construídas, respectivamente as tabelas 5 e 6.

A análise dessas duas tabelas também é praticamente impossível, em função das referidas interações de fatores. Em função disso, resolveu-se efetuar novas análises de variância; uma para cada espessura de espécime, agora a três critérios.

Os resultados de uma segunda análise de variância, para a espessura de 1 mm, estão apresentados na tabela 7. Nela, pode-se notar que houve diferença significativa para o fator 1 (fonte de luz) isoladamente, para o fator 2 (densidade de energia) isoladamente, assim como para a interação 1 x 2; todas as demais condições não apresentaram diferenças significantes. Novamente pode se perceber uma extrema dificuldade em analisar também esta tabela, pelas mesmas razões anteriormente referidas.

Foi então efetuada uma terceira análise de variância, também a três critérios, considerando-se apenas a espessura de 2 mm. Os resultados podem ser encontrados na tabela 8, na qual não houve diferença significativa apenas para a interação 1 x 3.

Foram então realizados quatro testes de Tukey, um para cada fonte de luz, com as três densidades de energia luminosa; os respectivos resultados encontram-se nas tabelas 9, 10, 11 e 12; em todos estes grupos foi constatada homogeneidade, com $\alpha=0,05$.

Na tabela 9, pode ser constatado que somente existiu diferença significativa para o grupo da densidade de energia 8, o que significa que a dureza no topo foi maior que a dureza na base. Em outras palavras, o uso desta fonte de luz, nesta taxa de densidade de energia luminosa, promove uma dureza nitidamente menor na base, indicando que o índice de conversão foi menor.

Nas tabelas 10, 11 e 12, pode ser constatado que não existiu diferença significativa entre os diferentes grupos de densidade de energia luminosa.

As figuras 14, 15 e 16 têm a finalidade de permitir mais facilmente o entendimento dos resultados.

Tabela 2 – Valores da dureza Knoop (kgf/mm²), obtidos da média aritmética das marcas de cada um do corpo-de-prova de cada condição.

Fonte	Densidade	Espessura	Local	Corpos-de-prova				
				1	2	3	4	5
Halógena	8	1 mm	Topo	55.4	55.7	56.7	56.8	61.9
Halógena	8	1 mm	Base	56.7	55.1	55.2	59.8	55.7
Halógena	8	2 mm	Topo	59.2	58.5	62.3	59.0	61.2
Halógena	8	2 mm	Base	52.5	51.6	51.3	53.4	52.4
Halógena	12	1 mm	Topo	56.4	53.1	56.4	56.3	56.4
Halógena	12	1 mm	Base	58.3	57.1	58.2	57.7	57.5
Halógena	12	2 mm	Topo	60.3	54.5	58.5	56.5	59.7
Halógena	12	2 mm	Base	61.3	56.4	55.9	57.9	52.4
Halógena	16	1 mm	Topo	53.1	56.7	59.6	53.3	60.7
Halógena	16	1 mm	Base	54.5	57.5	58.0	63.3	61.8
Halógena	16	2 mm	Topo	61.9	63.7	60.8	64.4	63.5
Halógena	16	2 mm	Base	62.0	63.5	60.6	62.2	64.3
LED 150	8	1 mm	Topo	60.7	60.6	62.5	60.2	62.9
LED 150	8	1 mm	Base	59.2	60.3	62.7	60.6	60.7
LED 150	8	2 mm	Topo	58.3	59.5	58.2	62.0	61.9
LED 150	8	2 mm	Base	54.5	55.4	55.9	58.8	60.4
LED 150	12	1 mm	Topo	62.6	65.3	64.9	62.4	63.2
LED 150	12	1 mm	Base	63.0	62.7	62.0	64.2	61.9
LED 150	12	2 mm	Topo	57.0	60.5	60.0	61.5	65.6
LED 150	12	2 mm	Base	55.1	59.1	59.7	63.6	67.3
LED 150	16	1 mm	Topo	66.1	62.8	62.3	62.8	65.3
LED 150	16	1 mm	Base	60.7	63.9	64.5	65.5	66.3
LED 150	16	2 mm	Topo	69.9	63.8	66.8	71.8	71.9
LED 150	16	2 mm	Base	65.3	64.4	70.1	66.5	64.5
LED 300	8	1 mm	Topo	61.2	60.4	61.3	63.1	58.9
LED 300	8	1 mm	Base	58.8	53.7	59.2	69.0	62.2
LED 300	8	2 mm	Topo	58.3	64.3	62.4	58.6	65.2
LED 300	8	2 mm	Base	61.8	63.3	61.4	56.5	63.6
LED 300	12	1 mm	Topo	50.1	52.5	57.6	58.7	58.8
LED 300	12	1 mm	Base	50.5	51.1	57.8	56.9	57.9
LED 300	12	2 mm	Topo	61.2	63.6	64.7	62.7	64.3
LED 300	12	2 mm	Base	63.3	62.9	60.2	57.8	57.3
LED 300	16	1 mm	Topo	64.1	64.7	64.4	67.0	65.3
LED 300	16	1 mm	Base	61.8	63.5	65.8	67.3	67.4
LED 300	16	2 mm	Topo	65.6	65.7	65.8	63.8	68.4
LED 300	16	2 mm	Base	63.4	64.7	64.5	63.2	65.1
LED 600	8	1 mm	Topo	57.0	59.5	62.0	62.5	58.7
LED 600	8	1 mm	Base	57.5	59.6	59.7	61.1	59.3
LED 600	8	2 mm	Topo	60.4	61.3	59.2	64.1	60.6
LED 600	8	2 mm	Base	59.8	60.3	59.0	59.8	59.8
LED 600	12	1 mm	Topo	64.2	62.7	62.0	64.2	64.5
LED 600	12	1 mm	Base	63.9	61.7	61.6	63.8	64.6
LED 600	12	2 mm	Topo	63.7	68.5	64.1	64.8	65.9
LED 600	12	2 mm	Base	62.7	65.5	66.5	63.8	65.6
LED 600	16	1 mm	Topo	62.8	59.7	60.6	63.2	64.0
LED 600	16	1 mm	Base	58.5	60.7	63.3	62.4	61.5
LED 600	16	2 mm	Topo	62.5	63.3	65.6	65.0	63.6
LED 600	16	2 mm	Base	62.5	64.5	65.2	63.2	60.7

Figura 14 – Gráfico ilustrativo dos resultados da tabela 2.

Y= contém valores de microdureza Knoop.

X= fontes de luz / densidade de energia luminosa (8, 12 e 16 J/cm²).

Espessuras (1 e 2 mm). Topo (T) e base (B).

Média aritmética dos valores de microdureza (ponto vermelho), com seus respectivos desvio padrão (ponto negro).

Tabela 3 – Resultados da dureza Knoop (expressos pela média aritmética e respectivo desvio padrão), no topo e na base dos espécimes, para os grupos das fontes de luz, em cada condição de densidade de energia luminosa (J/cm^2) / espessura do espécime (mm).

Fonte de luz	$[\text{J}/\text{cm}^2]/\text{mm}$	Topo	Base
Halógena 600	8 / 1	57,30 (2,64)	56,50 (1,95)
Halógena 600	8 / 2	60,04 (1,63)	52,24 (0,83)
Halógena 600	12 / 1	55,72 (1,47)	57,76 (0,50)
Halógena 600	12 / 2	57,90 (2,39)	56,78 (3,23)
Halógena 600	16 / 1	56,68 (3,50)	59,02 (3,53)
Halógena 600	16 / 2	62,86 (1,47)	62,52 (1,43)
LED 150	8 / 1	61,38 (1,23)	60,70 (1,27)
LED 150	8 / 2	59,98 (1,87)	57,00 (2,49)
LED 150	12 / 1	63,68 (1,34)	62,76 (0,93)
LED 150	12 / 2	60,92 (3,11)	60,96 (4,65)
LED 150	16 / 1	63,86 (1,72)	64,18 (2,15)
LED 150	16 / 2	68,84 (3,49)	66,16 (2,36)
LED 300	8 / 1	60,98 (1,53)	60,58 (5,61)
LED 300	8 / 2	61,76 (3,19)	61,32 (2,85)
LED 300	12 / 1	55,54 (3,99)	54,84 (3,71)
LED 300	12 / 2	63,30 (1,40)	60,30 (2,78)
LED 300	16 / 1	65,10 (1,15)	65,16 (2,45)
LED 300	16 / 2	65,86 (1,64)	64,18 (0,83)
LED 600	8 / 1	59,94 (2,30)	59,44 (1,29)
LED 600	8 / 2	61,12 (1,83)	59,74 (0,47)
LED 600	12 / 1	63,52 (1,10)	63,12 (1,38)
LED 600	12 / 2	65,40 (1,92)	64,82 (1,54)
LED 600	16 / 1	62,06 (1,82)	61,28 (1,83)
LED 600	16 / 2	64,00 (1,27)	63,22 (1,76)

Tabela 4 – Resultados da análise estatística de variância. As variáveis analisadas são: 1 - fonte de luz, 2 - densidade de energia luminosa, 3 - espessura e 4 - superfície/base do corpo-de-prova.

Fatores	F _{obs}	Probabilidade	Significante
1	35,31192	0,00000	sim
2	45,57146	0,00000	sim
3	12,17662	0,00073	sim
4	16,59558	0,00010	sim
1x2	9,396358	0,00000	sim
1x3	2,842777	0,04182	sim
2x3	6,108815	0,00318	sim
1x4	0,134402	0,93932	não
2x4	3,697274	0,02839	sim
3x4	15,41358	0,00016	sim
1x2x3	5,247445	0,00010	sim
1x2x4	3,51431	0,00347	sim
1x3x4	3,1734	0,02769	sim
2x3x4	0,712218	0,49313	não
1x2x3x4	1,207384	0,30921	não

Tabela 5 – Resultados do teste de Tukey, aplicado aos dados do trabalho, com comparações apenas da dureza do topo dos espécimes. (grupo homogêneo, com $\alpha = 0,05$). Grupos com letras iguais, na mesma coluna, não apresentam diferença estatisticamente significativa entre si. FL = fonte de luz; DE = Densidade de energia luminosa; E = Espessura.

Condição										
FL	DE	E	média							
LED-300	12	1 mm								
Halógena	12	1 mm	55,54	a						
Halógena	16	1 mm	55,72	a	b					
Halógena	8	1 mm	56,68	a	b	c				
Halógena	12	2 mm	57,30	a	b	c	d			
LED-600	8	1 mm	57,90	a	b	c	d	e		
LED-150	8	2 mm	59,94	a	b	c	d	e	f	
Halógena	8	2 mm	59,98	a	b	c	d	e	f	
LED-150	12	2 mm	60,04	a	b	c	d	e	f	
LED-300	8	1 mm	60,92		b	c	d	e	f	g
LED-600	8	2 mm	60,98			c	d	e	f	g
LED-150	8	1 mm	61,12			c	d	e	f	g
LED-300	8	2 mm	61,38			c	d	e	f	g
LED-600	16	1 mm	61,76			c	d	e	f	g
Halógena	16	2 mm	62,06				d	e	f	g
LED-300	12	2 mm	62,86					e	f	g
LED-600	12	1 mm	63,30						f	g
LED-150	12	1 mm	63,52						f	g
LED-150	16	1 mm	63,68						f	g h
LED-600	16	2 mm	63,86						f	g h
LED-300	16	1 mm	64,00						f	g h
LED-600	12	2 mm	65,10						f	g h
LED-300	16	2 mm	65,40							g h
LED-150	16	2 mm	65,86							g h

Tabela 6 – Ilustra a análise estatística (Teste de Tukey), onde foram comparados os valores somente do lado da base dos corpos-de-prova (grupo homogêneo $\alpha = 0,05$. Interação 1 x 2 x 3). Grupos com letras iguais, na mesma coluna, não apresentam diferença estatisticamente significativa entre si. FL = fonte de luz; DE = Densidade de energia luminosa; E = Espessura.

Condição											
FL	DE	E	Média								
Halógena	8	2 mm	52,24	a							
LED-300	12	1 mm	54,84	a	b						
Halógena	8	1 mm	56,50	a	b	c					
Halógena	12	2 mm	56,78	a	b	c	d				
LED-150	8	2 mm	57,00	a	b	c	d	e			
Halógena	12	1 mm	57,76	a	b	c	d	e	f		
Halógena	16	1 mm	59,02		b	c	d	e	f	g	
LED-600	8	1 mm	59,44		b	c	d	e	f	g	h
LED-600	8	2 mm	59,74		b	c	d	e	f	g	h
LED-300	12	2 mm	60,30		b	c	d	e	f	g	h i
LED-300	8	1 mm	60,58		b	c	d	e	f	g	h i
LED-150	8	1 mm	60,70		b	c	d	e	f	g	h i
LED-150	12	2 mm	60,96			c	d	e	f	g	h i
LED-600	16	1 mm	61,28			c	d	e	f	g	h i
LED-300	8	2 mm	61,32			c	d	e	f	g	h i
Halógena	16	2 mm	62,52				d	e	f	g	h i
LED-150	12	1 mm	62,76					e	f	g	h i
LED-600	12	1 mm	63,12						f	g	h i
LED-600	16	2 mm	63,22						f	g	h i
LED-150	16	1 mm	64,18							g	h i
LED-300	16	2 mm	64,18							g	h i
LED-600	12	2 mm	64,82							g	h i
LED-300	16	1 mm	65,16								h i
LED-150	16	2 mm	66,16								i

Tabela 7 – Mostra a análise de variância a três critérios somente para a espessura de 1 mm dos corpos de prova. Interações entre: fonte de luz (1), densidade de energia (2), topo/base (3). Estatística da análise de variância (F) e probabilidade (p).

Fatores	F _{obs}	Probabilidade	Significante
1	21,976	0,0000	sign
2	11,02967	0,0001	sign
3	0,010034	0,9206	não sign
1x2	9,337514	0,0000	sign
1x3	1,389103	0,2575	não sign
2x3	0,799481	0,4555	não sign
1x2x3	0,557289	0,7619	não sign

Tabela 8 – Análise de variância a três critérios somente para a espessura de 2 mm. Interações entre: fonte de luz (1), densidade de energia (2) e superfície topo/base (3). Estatística da análise de variância (F) e probabilidade (p).

Fatores	F _{obs}	Probabilidade	Significante
1	16,06737	0,0000	sign
2	41,21943	0,0000	sign
3	35,07812	0,0000	sign
1x2	5,228875	0,0003	sign
1x3	1,969673	0,1311	não sign
2x3	3,880529	0,0274	sign
1x2x3	4,511595	0,0011	sign

Tabela 9 – Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz halógena (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.

FL – DE	superfície	média	significância
Halógena - 8	base	52,24	a
	topo	60,04	b
Halógena - 12	base	56,78	a
	topo	57,9	a
Halógena - 16	base	62,52	a
	topo	62,86	a

Tabela 10 – Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 150 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.

FL – DE	superfície	média	significância
LED 150 - 8	base	57,00	a
	topo	59,98	b
LED 150 - 12	base	60,92	a
	topo	60,96	a
LED 150 - 16	base	66,16	a
	topo	68,84	a

Tabela 11 – Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 300 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.

FL – DE	superfície	média	significância
LED 300 - 8	base	61,32	a
	topo	61,76	a
LED 300 - 12	base	60,3	a
	topo	63,3	a
LED 300 - 16	base	64,18	a
	topo	65,86	a

Tabela 12 – Resultados do teste de Tukey, para a fonte de luz LED 600 (FL), nas três densidades de energia luminosa (DE), para a base e o topo. Para cada condição FL – DE letras iguais na última coluna indicam semelhança estatística entre a dureza da base e do topo.

FL – DE	superfície	média	significância
LED 600 - 8	base	59,74	a
	topo	61,12	a
LED 600 - 12	base	64,82	a
	topo	65,4	a
LED 600 - 16	base	63,22	a
	topo	64	a

Figura 15 – Gráfico ilustrativo dos valores de dureza, apenas na base dos espécimes de 2 mm de espessura, com as quatro diferentes fontes de luz, nas três densidades de energia luminosas analisadas.

Figura 16 – Gráfico ilustrativo dos tempos de exposição necessários para cada aparelho fotopolimerizador, em função da densidade de energia luminosa requerida.

6 DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

Em 1985, a Associação Dental Americana menciona que não há nenhuma informação definitiva, correntemente avaliada dos efeitos e condições ótimas para uso de diferentes combinações de luz/compósito.

O método de avaliação realizado neste estudo vai de acordo à afirmação de DENYER & SHAW 1982 no relato que, o contínuo crescimento de compósitos polimerizados por luz determina o desenvolvimento de um método confiável e significativo “in vitro” para avaliar o grau e a profundidade de polimerização desses materiais em relação à situação clínica. Assim como utilizar o método de avaliação da eficiência de polimerização com a técnica de dureza Knoop (WATTS et al. 1984; ONOSE et al. 1985; MATSUMOTO et al. 1986; PILO & CARDASH 1992; SOH et al. 2003; YAP et al. 2004; ASMUSSEN & PEUTSFELDT 2005; GIORGE et al. 2008; GANIME et al. 2008; DALLI 'MAGRO et al. 2008; BARRETO 2009).

Em outros trabalhos quando utilizado o método de medida do grau de conversão (por diferentes meios) não houve diferença estatística significativa, sendo que a conversão monomérica da resina composta ocorreu na presença da ativação física e não se alterou significativamente com o tempo (DENIS et al. 2007).

Buscou-se neste estudo, realizar uma avaliação física do material (Microdureza Knoop), pois nos mostra uma semelhança maior com o que ocorre clinicamente, proposta esta que concorda com Asmussen (1982), onde observou que a dureza da resina composta está relacionada com a quantidade de duplas ligações, mas as uniões convertidas não necessariamente indicam maior grau de conversão (por formar cadeias curtas de polímeros), devido que a reação poderia ter ocorrido sem aumentar as uniões cruzadas (As cadeias longas de polímeros são responsáveis para formar as ligações cruzadas e o material polimerizar adequadamente).

A fotoativação ao contrário da ativação química, não promove uma polimerização uniforme por todo o material. Observamos nesse trabalho quando realizamos cinco endentações na superfície do corpo-de-prova (norte, sul, leste, oeste e centro), que cada medida (dureza Knoop) diferia uma da outra mesmo que em pequenas variações. A profundidade em que ela ocorre, depende de fatores

relacionados com o material restaurador (DE WALD & FERRACANE 1987), neste caso utilizamos um tipo de resina (Filtek Z250), pois não foi o objetivo a comparação do material e sim avaliar a microdureza com fontes de luz halógena e LED, em função da densidade de energia luminosa irradiada.

As variáveis são:

- Profundidade (1 e 2 mm);
- Superfície e base;
- Densidade de energia luminosa (8, 12 e 16 J/cm²);
- Fontes de luz (halógena Ellipar 3M – ESPE – 600 mW/cm², LED Ultraled XP Dabi Atlante – 150 mW/cm² e LED Ultrablue-IS DMC – 300 e 600 mW/cm²).

Vários outros autores mediram a profundidade de polimerização dos compósitos odontológicos utilizando medidas tanto na superfície quanto na base do corpo-de-prova, com a intenção de avaliar a polimerização na porção mais profunda da cavidade (ONOSE et al. 1985; De BACKER & DERMAUT 1986; NEVES et al. 2002; SANTOS GB 2003; YAP et al. 2004; Correr 2005; CALHEIROS 2006; GANIME et al. 2008; GIORGE et al. 2008; SCHENEIDER 2008; DALLI 'MAGRO et al. 1991; DALLI 'MAGRO et al. 2008; BARRETO 2009), os quais também utilizaram o método de microdureza Knoop para verificar o grau de polimerização do compósito analisado.

Ao comparar os resultados em relação à profundidade de 1 e 2 mm observamos que: os resultados obtidos na superfície com a base do corpo-de-prova de 2 mm de espessura, houve diferença estatística significativa para os grupos ativados com a menor densidade de energia luminosa avaliada (8 J/cm²) com fonte de luz halógena e com fonte de luz LED de menor densidade de potência (150 mW/cm²). Em todos os demais grupos não foi observada diferenças estatística significativa entre os valores achados na superfície e na base. Igualmente outros trabalhos obtiveram resultados nos quais se esperava que a profundidade influência na polimerização, como LEUNG et al. em 1982 encontraram que a dureza foi significativamente afetada pelo tempo de exposição e espessura do compósito.

Estes resultados sugerem que a espessuras de resina composta de 2 mm apartir de 12 J/cm² podem ser ativadas (de forma adequada), por fonte de luz LED.

Por outro lado quando só forem aplicados 8 J/cm², a fonte de luz halógena de 600 mW/cm² e a fonte de luz LED de menor densidade de potência das avaliadas (150 mW/cm²) não foram eficientes em polimerizar adequadamente a base do corpo-de-prova (2 mm). Resultados semelhantes foram obtidos por Cavina et al. em 2003, que observou através de análises das forças de contração de polimerização que corpos-de-prova ativados com 8 J/cm² desenvolviam menores forças de contração que corpos-de-prova ativados com 10 e 15 J/cm², sugerindo uma menor polimerização.

A diferença entre o comportamento da ativação com fonte de luz halógena e LED, da mesma densidade de potência (600 mW/cm²), quando utilizado o mesmo tempo de ativação e baixa densidade de energia (8 J/cm²), poderia expressar a maior especificidade do comprimento de onda da fonte de luz LED na sensibilização da canforoquinona, manifestada em uma melhor profundidade de polimerização. Desde 1983, Blankenau et al. já tinha observado que os resultados da intensidade relativa variaram no comprimento de onda específico entre 468 a 480 nanômetros. As resinas compostas fotoativadas ao serem expostas à fonte de luz de aproximadamente 465 nm, na qual atua sobre a canforoquinona (fotoiniciador) presente na maioria das resinas compostas, abre os enlaces de dupla ligação de carbono que permite que as moléculas se liguem entre si através de uniões químicas covalentes. Esta reação formará cadeias de moléculas denominadas de polímeros. Estes polímeros por serem moléculas maiores e de maior peso molecular e por entrelaçar-se entre si terão seu movimento diminuído em relação à condição que apresenta as moléculas livres (monômeros) antes da polimerização. Esta nova condição molecular origina que o material passe a ser um corpo sólido (COOK 1986; YEARN 1985; NOMOTO 1997). Nos resultados pode-se observar que mesmo aplicando a mesma densidade de energia luminosa, uma densidade de potência mínima (300 mW/cm²) foi necessária para ativar adequadamente o topo e a base do corpo-de-prova com os aparelhos LED. Já na fonte de luz halógena avaliada (600 mW/cm²), a densidade de potência não foi suficiente para ativar adequadamente o corpo-de-prova em ambas as superfícies, sugerindo que esse valor de densidade de

potência deve ser maior com estas fontes de luz para essa densidade de energia luminosa (8 J/cm^2) e com essa espessura de resina composta (2 mm).

Quando foram analisados os resultados obtidos para cada fonte de luz em relação ao aumento de densidade de potência, foi observado diferença estatística significativa na superfície do corpo-de-prova, para a fonte de luz halógena (600 mW/cm^2) e a fonte de luz LED de 150 mW/cm^2 de densidade de potência, onde 16 J/cm^2 apresentou maiores valores que 12 J/cm^2 , sugerindo que a superfície estaria sendo polimerizada inadequadamente quando uma baixa densidade de potência e uma baixa densidade de energia luminosa são aplicadas.

Na base do material esses resultados se repetiram de forma mais evidente, sugerindo que aparelhos LED de 150 mW/cm^2 e halógeno de 600 mW/cm^2 não polimerizam adequadamente espessuras de 2 mm de resina composta quando 8 J/cm^2 são aplicados. Aparentemente a combinação densidade de potência, densidade de energia luminosa e tipo de fonte de luz, deve ser observada para uma adequada polimerização. Mencionamos que outros estudos (MATSUMOTO et al. 1986; RUEGGERBERG et al. 1993; SHORTALL & HARRINGTON 1996; HARRINGTON, WILSON & SHORTALL 1996; MONTENEGRO et al. 2003) estão de acordo com os resultados obtidos.

Foi observado ainda que a densidade de energia luminosa por si só, não seria suficiente para garantir uma boa polimerização, já que somente os espécimes foram ativados com 8 J/cm^2 com maior densidade de potência (LED 600 mW/cm^2) foram polimerizado adequadamente, resultado que discorda de WATT'S et al. 1984, que afirma que uma fonte de luz menos efetiva pode permitir uma polimerização satisfatória desde que o tempo de ativação seja suficientemente longo.

Novamente pode observar-se ao comparar a fonte de luz halógena e LED da mesma densidade de potência (600 mW/cm^2), um melhor comportamento da fonte de luz LED. Esta fonte de luz seria mais efetiva a menores densidades de energia luminosa que a fonte de luz halógena. Com a fonte de luz halógena existiu diferença significativa entre 8, 12 e 16 J/cm^2 , sugerindo que para fontes de luz halógena, 16 J/cm^2 sejam aplicados para uma adequada polimerização.

Já com a fonte de luz LED de 600 mW/cm^2 não existiu diferença significativa entre os três grupos avaliados, sugerindo que densidades de potência luminosa a

partir de 12 J/cm² poderiam ser utilizadas para obter uma adequada polimerização de espessuras de 2 mm de resina composta. Resultados semelhantes foram achados para LED de 300 mW/cm², não sendo assim para o LED de 150 mW/cm², onde os valores obtidos com 8 J/cm² foram significativamente menores que os obtidos com 16 J/cm². Entre os valores obtidos com 12 e 16 J/cm² não foi observado diferença estatística significativa, sugerindo que para essa densidade de potência (150 mW/cm²) em fonte de luz LED, uma densidade mínima de 12 J/cm² poderia ser utilizada, com o propósito de diminuir as forças de contração da resina composta estando de acordo com SAKAGUCHI & BERGE 1998. Assim como CALHEIROS 2006 afirma que com a resina composta Filtek Z250, não se observou aumento na tensão de contração de polimerização com a utilização de densidade de energia luminosa superior a 12 Joules. Também BENETTI 2007 observou que as restaurações de resina composta e o protocolo de fotoativação utilizado com ambas fontes fotoativadora (300 mW/cm² e 600 mW/cm²) para uma mesma densidade de energia luminosa (12 J/cm²) se mostraram clinicamente aceitáveis.

Quando comparamos as fontes de luz entre elas em cada densidade de energia luminosa, observamos que à 8 J/cm² não existiu diferença significativa entre os valores obtidos na superfície do corpo-de-prova com os aparelhos testados. No entanto à 12 e 16 J/cm² os aparelhos LED 600 mW/cm² mostraram ser mais eficientes comparado ao halógeno 600 mW/cm², onde a única diferença na luz emitida foi a fonte e não a densidade de potência nem densidade de energia luminosa.

Já na base do corpo-de-prova, onde a profundidade de polimerização é mais importante, foi observada diferença significativa entre as fontes de luz halógena e LED à uma densidade de energia luminosa de 8 e 12 Joules, em favor das fontes de luz LED.

Estes resultados não foram assim a 16 Joules, onde não existiu diferença significativa entre os valores obtidos com as diferentes fontes de luz. Segundo esses resultados podemos mencionar que, para ter certeza de uma apropriada polimerização independentemente do aparelho utilizado seria conveniente utilizar uma dose de irradiação de 16 Joules (para lâmpada halógena de 600 mW/cm²), no entanto valores menores podem ser utilizados se o profissional tem conhecimento do tipo de fonte de luz e da densidade de potência do seu aparelho fotoativador.

Encontramos que as camadas mais superficiais sofrem polimerização mais completa, tornando-se insatisfatória à medida que a distância da superfície aumenta, afirmação encontrada também no trabalho de tese de Correr em 2005.

Observamos que para 2 mm de profundidade existiu diferença estatisticamente significativa segundo o teste de Tukey entre os grupos que foram polimerizados com fonte de luz halógena 600 mW/cm² – 8 J/cm² com valor de microdureza knoop de 52,24 de base e 60,04 superfície e LED 150 mW/cm² - 8 J/cm² com valores de base de 57,00 e de superfície de 59,98. Desta forma ao fazermos uma relação do que ocorre na clínica, teríamos que em uma restauração de 2 mm de profundidade, a porção mais profunda poderia encontrar-se parcialmente ou até não polimerizada, com presença de monômeros residuais. Desde 1988 resultados semelhantes haviam sido encontrados, mostrando que em profundidades maiores que 1 mm, observou-se uma redução na dureza Knoop (BAHARAV et al. 1988).

Uma restauração incompletamente polimerizada é caracterizada por propriedades químicas e mecânicas inadequadas, podendo apresentar falhas retentivas, menos resistência a degradação pelo esforço mastigatório, fraturas, irritação pulpar, provocada pela polimerização incompleta, descoloração, perda de massa com conseqüente reinstalação de cárie (HANSEN & ASMUSSEN 1993; MIYAZAKI et al. 1996; SEABRA 2000).

A importância da intensidade de luz e sua relação com a polimerização das resinas compostas, provocou o surgimento de aparelhos capazes de controlar a intensidade luminosa por um determinado tempo, que é emitida através da ponta ativa, visando assegurar a máxima eficiência dessa reação, porém quando compramos um destes aparelhos não vem com a especificação da densidade de energia ($E = J/cm^2$), que nos permite através deste dado, a quantidade de densidade de potência (DP - mW/cm²) em relação ao tempo (T - segundos).

Seria interessante que nas resinas compostas contenham a informação do valor da densidade de energia luminosa mínima para sua fotoativação. Esta energia mínima (joule) é dada pelo produto da densidade de potência (DP) do aparelho de luz, com o tempo de exposição (T), ou seja, ($E = DP \times T$). Assim se uma determinada resina apresenta o valor de 8 J/cm² ou 8000 mJ/cm², como energia luminosa necessária para sua ativação, podem ser feitas combinações como as que foram

feitas e avaliadas neste estudo. Para isto é necessário conhecer o valor da densidade de potência (mW/cm^2) do aparelho utilizado e também o comprimento de onda (nanômetro). Seria uma forma bastante simples de trabalhar com as técnicas de fotoativação.

Os aparelhos de LED emitem luz em uma pequena faixa do espectro eletromagnético (450 - 500 nm), que coincide com pico máximo de absorção da canforoquinona (468 nm), que é um fotoiniciador geralmente encontrado na maioria das resinas compostas. Esta capacidade de especificidade deste aparelho mostrou-se favorável em relação à lâmpada halógena nos resultados onde a fonte de luz LED de $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (64,12 e desvio padrão 1,27) e a fonte de luz halógena $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (62,86 e desvio padrão 1,47), com o mesmo tempo de 20 segundos, tiveram diferença estatisticamente significativa nos resultados de microdureza. Este resultado mostrou concordância com outro trabalho (BALA et al. 2005), que menciona: a tecnologia com fonte de luz LED de alta densidade de potência apresentam vantagens em comparação à lâmpada halógena, mesmo quando sua densidade total é menor que a lâmpada halógena devido a que existe uma menor concentração de luz emitida na região espectral de interesse para a polimerização dos materiais resinosos.

Outra importante observação foi que, não é necessária uma altíssima densidade de potência em um tempo curto, podemos dar ao material o tempo necessário para que ocorra uma acomodação das moléculas monoméricas, evitando assim uma força de contração alta, que podem gerar tensões que contribuam para o fracasso da restauração (SAKAGUSHI & BERGE 1998; UNO & ASMUSSEN 1991; GORACCI et al. 1996)

Algumas menções encontradas no estudo da revisão da literatura merecem destaque como: Em 2005, onde Pires afirmou na conclusão de seu trabalho que o uso de um radiômetro é importante para aferir os aparelhos fotoativadores, visto que os aparelhos avaliados (Fontes de luz: LED e halógena) emitiram intensidades de luz menores que a informada pelos fabricantes; também MONTENEGRO et al. 2003 relata que o radiômetro no consultório é um fato negligenciado pelos profissionais, que esquecem de averiguar a efetividade de seu aparelho fotopolimerizador. Assim como (MARTIN 1998) realizou-se um estudo com o propósito de avaliar a eficiência das unidades de luz visível utilizadas na fotopolimerização de clínicas Australianas.

As informações obtidas neste estudo foram coletadas por meio de visitas aos dentistas, informando-os sobre o tempo de uso da fonte de luz, história da sua manutenção, a mudança de seus componentes e a leitura da densidade de potência. O autor observou que de 214 fontes de luz testadas, aproximadamente 27%, registraram uma densidade de potência igual ou inferior a de 200 mW/cm², um nível que é considerado inadequado para incrementos de resina composta com espessura de 2 mm. No Brasil (ARAUJO et al. 1997) realizaram um trabalho para avaliar as condições das fontes fotoativadora, utilizadas nos consultórios odontológicos e analisar o nível de consciência dos profissionais no que se refere aos cuidados que deveriam ser tomado para obter uma restauração com o máximo de qualidade. Concluíram que somente 11% dos aparelhos antigos se encontram em bom estado de utilização. Em outro estudo (BARGHI et al. 1994) os autores avaliaram 209 aparelhos em uso em consultórios odontológicos. As leituras foram relacionadas ao tipo de fonte de luz e suas condições. Concluíram que 30% das fontes de luz têm uma saída de densidade de potência menor que 200 mW/cm² e valor inadequado para propiciar polimerização suficiente. Correr Sobrinho et al., em 1994, avaliaram a intensidade de luz emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores comerciais. A intensidade de luz foi medida utilizando o Curing Radiometer Model 100 (Demetron Research Corporation, USA) na faixa de 0 a 1000 mW/cm², os resultados médios revelaram que 68 aparelhos apresentavam valores com intensidade abaixo de 200 m/Wcm², 27 entre 200 e 300 m/Wcm² e 5 acima de 300 m/Wcm². Em 1995 recomendou-se a utilização de aparelhos fotoativadores de qualidade, e que, os mesmos deveriam ser provados periodicamente, em termos de intensidade de luz. Sugeriram que a intensidade mínima aceitável deve ser medida com a utilização de um radiômetro (CAUGHMAN et al. 1995).

De acordo com os resultados obtidos neste estudo e de resultados obtidos de trabalhos anteriores, podemos afirmar que: Estamos frente a uma necessidade de estabelecer-se um maior controle por parte dos odontólogos a respeito da fotoativação dos compósitos utilizados na restauração da estrutura dentária. Sugerimos que, as lâmpadas fotoativadoras, deveriam conter um radiômetro acoplado na própria fonte de luz, com o objetivo de não ocorrer falhas nos valores de medida de densidade de potência, assim como as medidas deveriam ser dadas em densidade de energia luminosa J/cm² onde já estaria estipulada a densidade de

potência (mW/cm^2) e o tempo (segundos), como já ocorre nas fontes de luz Laser. Com estas medidas, juntamente com o conhecimento do valor de $12 \text{ J}/\text{cm}^2$ necessário para polimerizar a resina composta em uma espessura máxima de 2 mm, com fontes de luz LED (a partir de $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$) e $16 \text{ J}/\text{cm}^2$ em fontes de luz halógena (de $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$). Outra importante medida é que, não seria conveniente utilizar lâmpadas de altíssimas densidades de potência devido ao calor gerado na polpa, segundo os resultados sobre o aumento da temperatura promovida por fontes de luz halógena (LX2500) e LED (Freelight LED Ultrablue Is e LED Cool Blue) mostrados por Schneider et. al. em 2008. Estas observações estão relacionadas aos problemas encontrados com a falta de polimerização do material resina composta; no pós-operatório e a longo prazo, clinicamente são observados em pacientes que se submeteram aos procedimentos restauradores com uma polimerização deficiente.

7 CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nesse trabalho pode-se concluir que:

1. A partir de 12 J/cm² de densidade de energia luminosa, podem ser fotoativadas espessuras de resina composta de 2 mm de forma adequada, utilizando-se fonte de luz halógena (600 mW/cm²) ou LED (a partir de 300 mW/cm²).
2. Quando só forem aplicados 8 J/cm², a fonte de luz halógena de 600 mW/cm² e a fonte de luz LED de menor densidade de potência das avaliadas (150 mW/cm²), não foram eficientes em polimerizar adequadamente a base do corpo-de-prova de resina na espessura de 2 mm.
3. Ocorreu diferença estatística significativa entre o comportamento da ativação com luz halógena e LED, da mesma densidade de potência (600 mW/cm²), quando utilizado o mesmo tempo de ativação e baixa densidade de energia luminosa (8 J/cm²), podendo expressar a maior especificidade do comprimento de onda da fonte de luz LED na sensibilização da canforoquinona, manifestada em uma melhor profundidade de polimerização.
4. Com a fonte de luz halógena existiu diferença significativa entre 8, 12 e 16 J/cm², sugerindo que 16 J/cm² sejam aplicados para uma adequada polimerização. Já com a fonte de luz LED de 600 mW/cm² não existiu diferença significativa entre os três grupos avaliados, sugerindo que densidades de energia luminosa a partir de 8 J/cm², poderiam ser utilizadas para obter uma adequada polimerização de espessuras de 2 mm de resina composta.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

American Dental Association. Council on dental materials. Instruments and equipment Visible light-cured composites and activating units. J Am Dent Ass. 1985;110(1):100-103.

Araujo RM; Araujo MAM; Fernandes RVB. Efeitos da intensidade de luz e irradiação de calor de fotopolimerizadores em função do tempo de uso. JBC-J Bras Odont Integr. 1997;1(6):50-5.

Asmussen E. Restorative resins: Hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. Scand J Dent Res. 1982;90(6):484-9.

Asmussen E; Peutzfeldt A. Temperature rise induced by some light emitting diode and quartz-tungsten-halogen curing units. Eur J Oral Sci. 2005;113:96-8.

Baharav H; Abraham D; Cardash HS; Helft M. Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin. J Oral Rehabil. 1988;15(2):167-172.

Bala O; Ölmez A; Kalayci S. Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. J Oral Rehab. 2005;32(2):134-140.

Barghi N; Berry T; Hatton C. Evaluating intensity output of curing lights in private dental offices. J. Am Dent Assoc. 1994;22(7):97-102.

Barreto RM. Dureza Knoop de uma resina composta: influência da fotoativação por luz halógena ou LED, do tempo de armazenagem e do local de medição. Tese (Mestrado) UFJF. 2009.

Bassiouny MA; Grant AA. A visible light-cured composite restorative: clinical open assessment. Br Dent J. 1978;145(11):327-30.

Benetti AR. Avaliação clínica e laboratorial de resina composta em função da fotoativação com diferentes fontes de luz e densidades de potência. Tese Doutorado, Bauru, FOB-USP; ano 2007.

Calheiros FC; Kawano Y; Stansbury; Braga RR. Influence of radiant exposure of resin composites. Dent Mat. 2006;22(9):799-803.

Caughman WF; Rueggeberg FA; Curtis Jr JW. Clinical guidelines for photocuring restorative resins. J Amer Assoc. 1995;126(9):1280-6.

Cavina AD. Avaliação das forças geradas durante a contração de polimerização de resinas compostas híbridas Dissertação de Mestrado 2003 FOB – USP.

Cook WD. Curing efficiency and ocular hazards of dental photopolymerization sources. Biomateriais, Surrey. 1986;7:449-54. Apud Rueggeberg FA, Op. Cit. 42.

Cook WD; Standish PM. Cure of resin based restorative materials. II. White light photopolymerized resins. Aust Dent J. 1983;28(5):307-11.

Coradazzi JL; Francischone CE; Franco EB. Avaliação de um aparelho com lâmpada halógena para polimerização de resinas compostas. Rev Paul Odont. 1986;8(4):50-4.

Correr AB. Avaliação da dureza Knoop de compósitos restauradores odontológicos fotoativados por diferentes métodos. Tese de mestrado, Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Universidade Estadual de Campinas. 2005;74.

Correr Sobrinho L; De Góes MF; Consani S. Avaliação da intensidade de luz visível emitida por aparelhos fotopolimerizadores. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisas Odontológicas. Águas de São Pedro. Anais Bauru: SBPqO. 1994:136.

Dalli'Magro E. Influência das cunhas refletoras no grau de dureza knoop de compósitos odontológicos. Tese (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade de Campinas. 1991:94.

Dalli'Magro E; Sinhorette MAC; Correr AB; Consani RLX; Sicoli EA; Mendonça MJ; Correr-Sobrinho L. Effect of different modes of light modulation on the bond strength and Knoop hardness of a dental composite. Braz Dent J. 2008;19(4):334-40.

Davidson-Kaban SS et al. The effect of curing light variations on buccal curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resins composites. Dent Mater. 1997;13(6):344-52.

De Backer J; Dermout L. Visible light sources and visible light-cured resins: a practical mixture. Quintess Int. 1986;17(10):635-41.

De Lange C; Bausch JR; Davidson CL. The curing pattern of photo-initiated dental composites. *J Oral Rehabil.* 1980;7(5):369-77.

Delgado L. Avaliação da microdureza superficial de resinas compostas extra claras fotopolimerizadas por luz halógena e LED e descrição das características dos aparelhos fotopolimerizadores [Dissertação de mestrado] Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2004.

Denis AB; Fernandes MR; Plepis AMG. Avaliação do grau de conversão monomérica de resina composta fotopolimerizada por LED. *FOL – UNIMEP.* 2007;19(2): 19-23.

Denyer R; Shaw DJ. Cure evaluation of visible light composites by Knoop hardness measurement. *J Dent Res.* [Abstr. 833] 1982;61(1):271.

De Wald JP; Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res.* 1987;63(3):727-30.

Dunne SM; Davies BR; Millar BJ. A survey of the effectiveness of dental light-curing units and comparison of light testing devices. *Br Dent J.* 1996;180(1):411-6.

Emani N; Doderholm KJ; Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent.* 2003;31(3):189-96.

Ewen D; Nelson R; Schuter N. *Physics for carrer education 5* Prentice Hall: EUA; 1996.

Fan PL; Wozniak WT; Reyes WD; Stanford JW. Irradiance of visible light-curing units and voltage variation effects. *J Amer Dent Ass.* 1987;115(3):442-5.

Ferracane JL; Aday P; Matsumoto H; Marker VA. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. *Dent Mat.* 1986;2(2):80-4.

Feilzer AJ; Dooren LH; D Gee AJ; Davidson CL. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci.* 1995;103(5):322-6.

Fowler CS; Swart ML; Moore BK. Efficacy testing of visible-light-curing units. *Oper Dent.* 1994;19(2):47-52.

Franco EB; Navarro MFL. Avaliação do comportamento do sistema de polimerização por luz emitida por diodo, LED, em comparação ao sistema de luz halógena. Bauru, FOB-USP, 2002.

Friedman J; Hassan R. Comparison study of visible curing lights and hardness of light-cured restorative materials. J Prosth Dent. 1984;52(4):504-6.

Fujibayashi K; Ishimaru K; Takahash N; Kohno. Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. Dent Jpn. 1998;34:49-53.

Gamine MM; Giorgi MCC; Dias CTS; Paulillo LAMS. Avaliação de dureza Knoop de resina composta ativada por diferentes Fontes de luz. Cienc Odontol Brás. 2008;11(3):74-80.

Giorgi MCC; Dias CTS; Paulillo LAMS. Influence of LED and halogen light-curing units and exposure time in Knoop hardness of composite. Cienc Odontol Bras. 2008;11(4):18-23.

Goracci G; Mori; Casa de Martinis L. Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. Quintessence Int. 1996;27(5):355-62.

Hansen EK; Asmussen E. Reliability of three dental radiometers. Scand J Dent Res. 1993;101(2):115-9.

Hansen EK; Asmussen E. Correlation between depth of cure and surface hardness of a light-activated resin. Scand J Den Res. 1993;101(1):62-4.

Harrington E; Wilson HJ; Shortall AC. Light-activated restorative materials: a method of determining effective radiation times. J Oral Rehabil. 1996;23(3):210-8.

Harrington E; Wilson HJ. Visible-light curing units correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. Acta Odontol Scand. 1997;55(3):162-6.

Jandt KD; Mills RW; Blackwell GB; Ashworth SH. Depth of cure and compressive strenght of dental composite cured with blue light emitting diodes (LED). Dent Mat. 2000;16:41-7.

Kanca J. Visible light-activated composite resins for posterior use a comparison of surface hardness and uniformity of cure. Update. Quintess Int. 1985;16(10):687-90.

Kilian RJ. Visible light cured composite dependence of cure on light intensity. J Dent Res. N special issue A. [Abstr. 603] 1979:243.

Knezevic A; Tarle Z; Meniga A; Sutalo J; Pichler G. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. J Oral Rehab. 2001;28(6):588-91.

Koran P; Kurschner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion and degree of polymerization. Amer J Dent. 1998;11(1):17-22.

Kurachi C; Tuboy AM; Magalhães DV; Bagnato DS. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. Dent Mat. 2001;17(4):309-15.

Leung RL; Fan PC; Johnston WM. Exposure time and thickness on polymerization of visible light composite. J Dent Res. N. special [Abstr.623] 1982;61:248.

Mandarino F. Capacidade de polimerização da resina composta ativada por luz visível. Efeito de materiais, aparelhos, tonalidades de cor e tempos de exposição em diferentes profundidades. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista. 1990:146.

Martin FE. A survey of the efficiency of visible light curing units. J Dent. 1998;26(3):239-43.

Matsumoto H; Gres JE; Marker VA; Okabe T; Ferracane JL; Harvey GA. Depth of cure of visible light-cured resin: clinical simulation. J Prosth Dent. 1986;55(5):574-8.

McCabe JF; Carrick TE. Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites. J Dent Res. 1989;68(11):1534-9.

Mills RW; Jandt KD; Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. Brit Dent J. 1999;186(8):388-91.

Miyazaki M; Oshida Y; Moore BK; Onose H. Effect oh light exposure on fracture toughness and flexural strength of light-cured composites. Dent Mater. 1996;12(5):328-32.

Montenegro G; Pinto T; Guimarães C; Assunção ACM; Blazzio DM. Descobrindo seu fotopolimerizador. Ver APCD 2003; 57:66-71.

Neves AD; Discacciat JAC; Orefice RL; Jansen WC. Correlação entre grau de conversão, microdureza e conteúdo inorgânico em compósitos. Pesquisa Odontol Bras 2002; 16(4):349-54.

Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mater J. 1997;16(1):60-73.

Onose H; Sano H; Ando S; Hasuike T. Selected curing Characteristics of light-activated composite resins. Dent Mater. 1985;1(1):48-54.

Ota K; Kopel HM; Nakamur RM; Kikuchi S; Thanos CE. Effect of light exposure time on the depth of curing in various composite resin systems. Pediatr Dent. 1985;7(1):19-22.

Pereira MAS; Namen FM; Galan J; Padilha J; Paulo S. Estudo da profundidade de polimerização de resina por alguns aparelhos fotopolimerizadores: relação com a dureza. Rev Bras Odont. 2000;57(3):156-60.

Peutzfeldt A. Resin composites in Dentistry: the monomer systems. Eur J Oral Sci. 1997;105:97-116.

Phillips RW. Skinner Materiais Dentários. 9th Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1993.

Pilo R; Cardash HS. Post-irradiation polymerization of a different anterior and posterior visible light-activated resin composite. Dent Mat. 1992;8(4):299-304.

Pires HC. Comparação de dois sistemas de fotoativação de resinas compostas, LED e lâmpada halógena: avaliação através de dureza em amostras de resinas compostas. Tese (Mestrado) FOB – USP. 2005:

Price RB; Felix CA; Andreu P. Knoop hardness of ten composite irradiated with high-power LED and quartz-tungsten-halogen lights. Biomaterials. 2005;26(15):2631-41.

Rodrigues MR; Newmann MG. Fotopolimerização: Princípios e métodos. Polímeros: Ciênc Tecnol. São Carlos. 2003; 13(4):276-86.

Rueggebeerg FA. Contemporary issues in photo-curing. Compendium.[Suplemento 25] 1999;20:4-15.

Ruggebeerg FA; Caughman WF; Curtis Jr JW. Factors affecting cure depths within light activated resin composites. Amer J Dent. 1993;6(2):91-5.

Ruggebeerg FA; Cughman WF; Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent. 1994;19(1):26-32.

Ruyter YE; Oysaed H. Conversion in different depths of ultra-violet and visible light activated composite materials. Acta Odont Scand. 1982;40(3):179-92.

Schneider LFJ; Moraes RR; Sinhoreti MAC; Correr-sobrinho L; Consani S. Temperature rise and Knoop hardness promoted by different light-curing units. Ciênc Odontol Bras. 2008;11(01):6-12.

Sakaguchi RL; Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composite. J Dent. 1988;26(8):695-700.

Samuel SW; Secco AS; Pacheco JFM; Süffert LW. Avaliação da dureza de dois compósitos restauradores em função da variação da distancia da fonte de luz polimerizadora, de uma polimerização adicional do acabamento superficial. Rev Fac Odont. De Porto Alegre. 1992;33(2):35-8.

Santos GB. Estudo da microdureza Knoop e do grau de conversão de um compósito em função da profundidade e fontes ativadoras. Tese (Mestrado) USP. 2003:75.

Seara BG de M. Avaliação da profundidade de polimerização de resinas compostas “condensáveis” em função do tempo de exposição à luz e da interferência do esmalte dentário. Dissertação (Mestrado) – Bauru - FOB-USP.2000:96.

Shortall AC; Harrington E. Guidelines for the selection use and maintenance of visible light activation units. Brit Dent J. 1996;181(10):383-7.

Skeeters TM; Timmons JH; Mitcheli RJ. Curing depth of visible-light cured composite resin. J Dent Res. [Abstr. 448] 1983;62(2):219.

Soh MS; Yap AUJ; Siow KS. Effectiveness of composite cure associated with different curing modes of LED light. Oper Dent. 2003.28(4):371-7.

Taira M; Urabe H; Hirose T; Wakasa K; Yamaki M. Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composite resins. *J Dent Res*. 1988;67(1):24-8.

Takamizu M; Moore BK; Setcos JC; Phillips RW. Efficacy of visible-light generators with changes in voltage. *Operat Dent*. 1988;13(4):173-80.

Tarle Z; Meniga A; Kenezevic A; Sutalo J; Ristic M; Pichler G. Composite conversion and temperature rise using a conventional Plasma Arc and experimental blue LED curing unit. *J Oral Reabilit*. 2002;29:662-7.

Uhl A; Sigusch WB; Jandt KD. Second generatin LED for the polymerization of oral biomaterils. *Dent Mat*. 2004;20:80-7.

Unterbrink GL; Mussner R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent*. 1995;23(3):183-9.

Uno S; Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res*. 1991;99(5):440-4.

Von Fraunhofer JA. The surface hardness of polymeric restorative materials. *Br Dent J*. 1971;130(16):243-5.

Watts DC; Amer OM; Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite systems. *Br Dent J*. 1984;156(6):209-15.

Watts DC; Mcnaughton V; Grant AA. The development of surface hardness in visible light-cured posterior composites. *J Dent Bristol*. 1986;14(4):169-74.

Wilson GS; Davies EH; Von Fraunhofer JA. Micro-hardness characteristics of anterior restorative materials. *Br Dent J*. 1980;148(2):37-40.

Yap AU; Soh MS; Han TT; Siow KS. Influence of curing light and modes on cross-linking density of dental composites. *Oper Dent*. 2004;29(4):410-5.

Yearn JA; MacClesfield UK. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J*. 1985;35(3):218-25.