

**NÍVEA REGINA DE GODOY FRÓES**

**INFLUÊNCIA DO MODO DE FOTOATIVAÇÃO E DA DISTÂNCIA  
DA FONTE DE LUZ NO GRAU DE CONVERSÃO E  
MICROINFILTRAÇÃO DE UM COMPÓSITO**

**São Paulo**

**2005**

**Nívea Regina de Godoy Fróes**

**Influência do modo de fotoativação e da distância da fonte de luz no grau de conversão e microinfiltração de um compósito**

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

Formatado: Fonte: 10 pt

Área de concentração: Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Francci

São Paulo

2005

## DEDICATÓRIA

Àqueles que deram real significado para a palavra amor em minha vida:

Felipe, meus pais e minhas irmãs.

Ainda que eu falasse línguas,  
as dos homens e dos anjos,  
se eu não tivesse o amor,  
seria como sino ruidoso  
ou como címbalo estridente.  
Ainda que eu tivesse o dom da profecia,  
o conhecimento de todos os mistérios  
e de toda a ciência;  
ainda que eu tivesse toda a fé,  
a ponto de transportar montanhas,  
se não tivesse o amor,  
eu não seria nada.  
Ainda que eu distribuísse  
todos os meus bens aos famintos,  
ainda que entregasse  
o meu corpo às chamas,  
se não tivesse o amor,  
nada disso me adiantaria.

O amor é paciente,  
o amor é prestativo;  
não é invejoso, não se ostenta,  
não se incha de orgulho.  
Nada faz de inconveniente,  
não procura seu próprio interesse,  
não se irrita, não guarda rancor.  
Não se alegra com a injustiça,  
mas se regozija com a verdade.  
Tudo desculpa, tudo crê,  
tudo espera, tudo suporta.  
O amor jamais passará.  
As profecias desaparecerão,  
as línguas cessarão,  
a ciência também desaparecerá.  
Pois o nosso conhecimento é limitado;  
limitada é também a nossa profecia.  
Mas, quando vier a perfeição,  
desaparecerá o que é limitado.

(Carta de São Paulo aos coríntios)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo mundo de todas as possibilidades, pela liberdade de escolha, pelo aprendizado de cada dia.

Agradeço a meus pais, sem os quais nada disso seria possível... Obrigada pelo suor da luta, por todo o carinho e amor incondicionais... Obrigada por me ensinarem o significado da persistência, pela dedicação e amizade, por não deixarem de ACREDITAR nem por um segundo... Para mim, são exemplos de honestidade, garra e união!

Agradeço às minhas irmãs, que desde cedo me ensinaram a compartilhar... Obrigada por estarem presentes nos momentos de alegria e de tristeza, pelo abraço acalentador, pelas palavras amigas... Cada uma a seu modo, com suas qualidades, vocês são maravilhosas!

Agradeço à Maria Helena (que grande amiga!) e à vovó Jacy, sempre dispostas a ajudar, a fazer o possível pela felicidade dos netos. Grandes mulheres, que Deus me permita um dia ter a mesma sabedoria e beleza interior!

Agradeço a meu orientador, Carlos, por todos esses anos de convivência! Obrigada por ter me apresentado à vida científica, por me acompanhar nessa

longa jornada rumo ao conhecimento... Obrigada pela paciência, pela compreensão, pelo empenho em proporcionar meu crescimento profissional. Saiba que minha admiração por você é enorme, e que sou muito grata por tudo o que fez por mim!

Agradeço a todo o Departamento de Materiais Dentários! Aos professores, não só por ensinarem a teoria, mas por traduzirem o amor da vida docente. Obrigada por me tratarem sempre com tanto carinho e respeito! Um obrigada especial à Profa. Rosa Helena, pelos “puxões de orelha”, pelos momentos em que precisamos de um colo... Obrigada à Rosinha, Mirtes, e aos técnicos Antônio e Sílvio. Sem o suporte dado por vocês tudo seria bem mais difícil!

Ao Prof. Yoshio, muito obrigada! Pela paciência em ensinar, pela solicitude sempre tão gentil! Sem sua ajuda essa tese não teria chegado ao fim!

Agradeço à CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico) pelo apoio financeiro.

Às minhas amigas Carmem e Carla, dizer obrigada seria muito pouco... Vivemos essa etapa juntas, desde o momento em que ingressamos na pós-graduação, até o término desse trabalho. Muito obrigada por fazerem parte desse processo, pela ajuda diária, pelo incentivo constante, por toda a torcida... As horas em que estivemos juntas foram maravilhosas, e permanecerão para sempre em meu coração!

A todos os meus amigos, pela força nos momentos de dificuldade, por tornarem a vida mais gostosa de ser vivida! Não daria para citar todos, mas fica aqui registrada a minha gratidão.

Aos meus futuros sogros, Sebastião e Raquel, por terem me recebido tão bem, desde que nos conhecemos há dois anos e meio. Obrigada por todo o apoio, pelos sábios conselhos, pela forma carinhosa manifestada até nas comidinhas e nos agasalhos...

Por fim, agradeço com todo o meu amor ao meu futuro marido, Felipe. Obrigada por ser tão paciente e amigo, pela força nos momentos de dificuldade, pela luz que seus olhos irradiam... Obrigada pela nova vida que começamos a construir, e pela aliança de uma vida inteira, ou de muitas vidas... Amo você!

Fróes NRG. Influência do modo de fotoativação e da distância da fonte de luz no grau de conversão e microinfiltração de um compósito [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o grau de conversão, bem como o padrão de microinfiltração, de uma resina composta frente às seguintes variações nas condições de fotopolimerização: intensidade de luz X tempo e distância fonte de luz-superfície do compósito. Espécimes cilíndricas do material Esthet-X A2 (5mm de diâmetro e 2mm de altura) foram polimerizadas de acordo com os seguintes parâmetros: 600mW/cm<sup>2</sup> por 40s, 400mW/cm<sup>2</sup> por 60s ou 200mW/cm<sup>2</sup> por 20s + 500mW/cm<sup>2</sup> por 40s; distância fonte-resina de 0, 3 ou 7mm, resultando em nove grupos experimentais (n=3). A densidade de energia (intensidade X tempo) para todos os grupos foi de 24J/cm<sup>2</sup>. Os corpos de prova foram então submetidos à análise através do espectrofotômetro FT-Raman (RFS 100/S, Bruker; resolução de 4 cm<sup>-1</sup> e 64 scans) para o cálculo da quantidade de duplas ligações remanescentes no material, tanto da face irradiada (FI) como da não-irradiada (FNI). A razão entre os picos relativos às bandas de 1610 e 1640 cm<sup>-1</sup> (duplas ligações aromáticas e alifáticas, respectivamente) foi utilizada para estimar o grau de conversão. A análise estatística (ANOVA, com  $\alpha < 0,05$ , e teste de Tukey) mostrou significância dos fatores distância da fonte, face analisada e da interação modo de irradiação X distância. As médias de grau de conversão (em%) para 600, 400 e 200+500mW/cm<sup>2</sup> foram respectivamente de 58,29 ( $\pm 2,87$ ); 57,99 ( $\pm 2,94$ )

e 58,32 ( $\pm 2,46$ ). Para as distâncias de 0, 3 e 7mm os valores obtidos foram: 59,13 ( $\pm 2,32$ ); 58,61 ( $\pm 3,08$ ) e 56,85 ( $\pm 2,24$ ). As faces irradiadas apresentaram grau de conversão médio de 59,01 ( $\pm 2,56$ ) enquanto as não irradiadas de 57,40 ( $\pm 2,67$ ). Para o teste de microinfiltração, cavidades classe V foram confeccionadas em 90 incisivos bovinos. O substrato foi condicionado com ácido fosfórico a 37% durante 15 segundos, lavado e seco para a remoção do excesso de água, deixando-se, entretanto, a dentina úmida. Foi então aplicado o sistema adesivo Prime & Bond NT (Dentsply/Caulk). O preenchimento da cavidade foi feito em um só incremento, seguindo o mesmo padrão de polimerização proposto para o estudo do grau de conversão. Após a restauração, os dentes foram armazenados e então submetidos ao protocolo de teste com nitrato de prata. Foi utilizado para a análise dos escores de microinfiltração o teste de Kruskal-Wallis, não-paramétrico. Assim, foi observado que o modo de irradiação em dois passos causou uma diminuição na microinfiltração; tal redução também foi observada com o aumento da distância fonte de luz-compósito, com exceção dos grupos irradiados com 400mW/cm<sup>2</sup>. As médias dos escores de microinfiltração variaram entre 0,25 ( $\pm 0,17$ ) para o grupo com irradiação em dois passos, 7mm de distância e 2,0 ( $\pm 0,96$ ) para o grupo de 600mW/cm, 0mm. Não houve correlação entre grau de conversão e microinfiltração, bem como não houve influência da densidade de energia sobre esses testes. Por outro lado, pode-se concluir que a forma de fornecimento da energia na fotoativação correlaciona-se com a conversão e a microinfiltração.

Palavras-chave: grau de conversão; microinfiltração; polimerização.



Fróes NRG. Influence of the photoactivation mode and light-tip distance on the degree of conversion and microleakage of a composite [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

## ABSTRACT

The aim of this study was to assess the degree of conversion and microleakage of a restorative composite in relation to the following variations on the photoactivation conditions: light intensity x exposure time and distance from the light source. Degree of conversion was analyzed on cylindrical specimens (5 mm in diameter and 2 mm in height), photoactivated according to one of the following methods: 600mW/cm<sup>2</sup> x 40s; 400 mW/cm<sup>2</sup> x 60 s or 200 mW/cm<sup>2</sup> x 20s, followed by 500 mW/cm<sup>2</sup> x 40s. The distance from the light source was also variable: 0, 3 or 7 mm. Therefore, nine experimental groups (n=3) were obtained. Energy density (power density x exposure time) for all groups was kept constant (24 J/cm<sup>2</sup>). Specimens were then submitted to FT-Raman analyses (RFS 100/S, Burker, 4cm<sup>-1</sup>, 64 scans) for remaining double-bonds estimative, both on the top and on the bottom surfaces. The relation between 1610 and 1640 cm<sup>-1</sup> peaks (aromatic and aliphatic bonds, respectively) was taken into account. Statistical analyses (ANOVA and Tukey test, a=0,05) found significance for the distance from the light source, the surface considered and the interaction between photoactivation mode and distance from the light

source. Degree of conversion (in %) was 58,29 ( $\pm 2,87$ ), 57,99 ( $\pm 2,94$ ) and 58,32 ( $\pm 2,46$ ) for 600, 400 and 200+500 mW/cm<sup>2</sup>, respectively. For source distances of 0, 3 and 7 mm, values were 59,13 ( $\pm 2,32$ ), 58,61 ( $\pm 3,08$ ) and 56,85 ( $\pm 2,24$ ), respectively. Top surfaces showed degree of conversion of 59,01 ( $\pm 2,56$ ), while for the bottom surface it was 57,40 ( $\pm 2,67$ ). For the microleakage test, the same composite was used for the restoration of class V cavities, made in 90 bovine incisors. The substrate was conditioned for 15 s with phosphoric acid (37%), then rinsed and gently dried. Prime & Bond NT (Dentsply/ Caulk) was then applied, according to the manufacturer's instructions. Preparations were restored in bulk and photoactivated according to the procedures described for the degree of conversion analyses. The teeth were then stored for 24 in distilled water (37°C) before being submitted to the silver-nitrate microleakage protocol. The results were analyzed using scores, submitted to the Kruskal-Wallis test. It could be observed that the two-step irradiation mode lead to less microleakage, when compared to the continuous modes. With exception to the specimens irradiated with 400mW/cm<sup>2</sup>, higher microleakage was observed for smaller distances from the light source. Means for the microleakage scores ranged from 0,25 ( $\pm 0,17$ ) for the two-step groups, 7mm from the light source to 2,0 ( $\pm 0,96$ ) for 600mW/cm<sup>2</sup>, 0mm. Power density did not influence neither the degree of conversion nor the microleakage. It could be concluded that photoactivation mode has an influence on the degree of conversion and on the microleakage.

Key-words: degree of conversion, microleakage, polymerization.

## SUMÁRIO

	p.
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Efeito da composição do material sobre o grau de conversão.....	17
2.2 Meios diretos e indiretos de obtenção do grau de conversão.....	19
2.3 Influência do modo de aplicação da luz sobre o grau de conversão e adaptação marginal.....	21
2.3.1 Uso das técnicas “soft-start”.....	24
2.3.2 Efeito do distanciamento da fonte de luz.....	26
<b>3 PROPOSIÇÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1 Análise do grau de conversão.....	29
4.2 Teste de microinfiltração.....	34
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>64</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento alcançado pelas resinas compostas se deve principalmente a dois fatores: sua capacidade de aderir às estruturas dentais e sua propriedade de mimetizá-las. A partir do estudo de Buonocore (1955), a técnica de condicionamento ácido da estrutura dental propiciou a obtenção de forças de adesão capazes de superar as tensões encontradas no ambiente bucal. Assim, tornou-se também possível a realização de cavidades conservadoras, que não exigem desgastes excessivos a fim de permitir a retenção do material restaurador. Além disso, a crescente requisição do mercado por estética facilitou a difusão dos compósitos entre os profissionais, já que nenhum outro material restaurador direto apresenta desempenho igual ou superior para simular situações de translucidez e opacidade com grande variedade de cores e matizes.

Entretanto, os compósitos restauradores apresentam um problema indissociável a sua técnica: a contração de polimerização, decorrente da aproximação entre os monômeros constituintes e formação de ligações covalentes entre os grupos metacrilato (ANUSAVICE, 1998). Como consequência, são geradas tensões no material, que podem ou não trazer prejuízos ao processo de adesão, dependendo do momento em que se desenvolvem. Quando tais forças surgem no início do processo de polimerização, fase conhecida como pré-gel, há a possibilidade de que sejam dissipadas através do escoamento do compósito, o qual ainda é capaz de

sofrer deformações visco-elásticas (DAVIDSON; De GEE, 1984). Por outro lado, o estabelecimento dessas tensões após o ponto-gel pode levar ao comprometimento da interface adesiva (FEILZER; De GEE; DAVIDSON, 1987). Como a partir desse momento o compósito tem seu módulo de elasticidade aumentado e por isso torna-se incapaz de escoar (DAVIDSON; De GEE; FEILZER, 1984), suas tensões internas podem ultrapassar a força de adesão ao dente, acarretando o surgimento de “gaps” (SUH et al., 1999). No caso de não ocorrer o rompimento da união, as tensões decorrentes da contração de polimerização são transmitidas ao dente, podendo causar deflexão de cúspides (PEARSON; HAGARTY, 1987) e até mesmo fratura do elemento dental. Esse padrão de polimerização é esperado especialmente quando se utilizam aparelhos fotopolimerizadores de alta potência, cada vez mais difundidos na atualidade. Altas intensidades de luz estão geralmente associadas a boas propriedades mecânicas, biocompatibilidade, estabilidade dimensional e baixa solubilidade (RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CURTIS, 1994; RUEGGERBERG et al., 1993), mas trabalhos também as relacionam a uma alta contração de polimerização (FEILZER et al., 1995; SAKAGUCHI; DOUGLAS; PETERS, 1992; UNO; ASMUSSEN, 1991).

Na tentativa de minimizar os efeitos deletérios das tensões de contração, os fabricantes manipulam a formulação dos compósitos. Assim se modificam tipos e concentrações de monômeros, iniciadores e inibidores, além da quantidade de carga (FERRACANE; GREENER, 1986). Utilizando outros meios, os profissionais também buscam o mesmo objetivo, e para isso fazem uso de diversas estratégias. Como descrito por Lutz, Krejci e Oldenburg (1986),

e mais recentemente discutido por Versluis et al. (1996), o uso de camadas incrementais pode reduzir o estresse da contração de polimerização por aumentar proporcionalmente a superfície livre e diminuir o fator cavitário. Como outra alternativa, seria recomendada a interposição de um material com baixo módulo de elasticidade entre o compósito restaurador e a superfície do dente, que poderia se deformar e dessa forma aliviar as tensões internas sem o comprometimento da interface adesiva (CHOI; CONDON; FERRACANE, 2000; ENSAFF; O'DOHERTY; JACOBSEN, 2001; KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON, 1990) . Por fim, o uso de métodos de irradiação que proporcionassem um maior tempo para a dissipação das forças geradas durante a formação da camada polimérica, seria de grande valia para a preservação da restauração (FEILZER et al., 1995; WATTS; AL HINDI, 1999).

Se por um lado, técnicas que se caracterizam por uma baixa intensidade inicial de luz contribuem para a manutenção da interface adesiva, podem também resultar em um grau de conversão muito reduzido. Dessa forma, com uma pequena quantidade de fótons para sensibilizar os iniciadores, apenas uma parte das duplas ligações das moléculas de monômero seria quebrada para sua junção, restando muitas unidades que não se ligariam à estrutura do polímero. Sabe-se que a presença de monômeros residuais ocorre em qualquer situação, porém são aceitas como taxas de conversão usuais valores entre 55 e 75% em condições normais de irradiação (ELIADES; VOUGIOUKLAKIS; PALAGHIAS, 1987; FERRACANE; GREENER, 1984; RUYTER; OYSAED, 1988). Acredita-se que isso possa ser explicado pela perda da mobilidade dos grupos reativos, causada pela rápida formação de

ligações cruzadas na cadeia de polímeros (CHUNG, 1990). Os componentes não reagidos podem ser lixiviados da restauração, podendo causar irritações teciduais, microinfiltração e cáries recorrentes (INOUE; HAYASHI, 1982).

Com a finalidade de aliar um adequado grau de conversão, responsável em parte pelo bom desempenho mecânico do material, e baixas tensões de contração, foram desenvolvidas técnicas denominadas de “soft-start”, das quais fazem parte os métodos “ramp” e “pulse-delay” (MEHL; HICKEL; KUNZELMANN, 1997). Enquanto a etapa inicial de baixa intensidade de irradiação favorece o prolongamento da fase pré-gel, a segunda, com intensidades mais altas, tem por função a manutenção da densidade de luz (intensidade X tempo) total aplicada à resina.

Trabalhos recentes na literatura procuram correlacionar, portanto, o modo de aplicação da luz e o comportamento do material, seja em relação ao potencial de microinfiltração ou às propriedades mecânicas adquiridas. É o caso de Vandewalle et al. (2004), que sugerem haver ligação entre a dose de energia irradiada e defeitos de margem, sem que isso possa afetar a microinfiltração do sistema adesivo.

Acredita-se ser de extrema importância o estudo da influência do modo de irradiação sobre o grau de conversão e microinfiltração dos compósitos, bem como de possíveis alterações no padrão de polimerização causadas por fatores clínicos. Em cavidades classe II isso se torna presente de maneira marcante, já que a aplicação de luz na parede gengival da cavidade fica dificultada. É esperada a diminuição da dose de luz que chega ao material, o que poderia desequilibrar o binômio tensão de contração-comportamento mecânico do

compósito. Seria importante determinar de que modo essa interferência ocorre, e se há realmente conseqüências deletérias para a restauração dos elementos dentais.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Efeito da composição do material sobre o grau de conversão

Muitos são os fatores que influenciam o grau de conversão dos compósitos de uso odontológico. A composição do material certamente está correlacionada à quantidade de duplas ligações de carbono remanescentes após a polimerização. Se, por um lado, o aumento na concentração de inibidores diminui o grau de conversão por diminuir o número de radicais livres e provocar a terminação de cadeias poliméricas em início de formação, altas concentrações de diluentes e aminas terciárias diminuem a ocorrência de monômeros residuais (FERRACANE; GREENER, 1986).

A estrutura da matriz polimérica em muito contribui para um maior ou menor grau de conversão (ASMUSSEN, 1982). Monômeros com alto peso molecular como o BIS-GMA e o UDMA apresentam pouca mobilidade durante o processo de formação das cadeias, restando muitas moléculas não reagidas presas na massa polimérica (CHUNG, 1990; FERRACANE; GREENER, 1986). Portanto, a adição de moléculas diluentes, como por exemplo o TEG-DMA, seria benéfica desse ponto de vista (FEILZER; DAUVILLIER, 2003), por facilitar o encontro dos monômeros restantes, embora sejam responsáveis pela sorção de água e aumento da contração de polimerização (KALACHANDRA; TURNER, 1987)

Outro ponto a ser considerado é o tamanho das moléculas de monômero. Enquanto o BIS-GMA e o BIS-EMA apresentam tamanhos grandes e similares, o UDMA e, principalmente, o TEG-DMA são menores e portanto com maior concentração de duplas ligações para a ocupação de um mesmo espaço. Dessa forma, os últimos demonstram, para graus de conversão semelhantes, uma maior densidade de ligações cruzadas e rede polimérica mais intrincada (SIDEROU; TSERVI; PAPANASTASIOU, 2002).

Incluídas na matriz polimérica, as partículas de carga demonstram importantes funções na determinação do desempenho mecânico da resina, sua viscosidade e também em seu grau de conversão (RUYTER; OYSAED, 1987). Por se comportarem como obstáculos, inibem radicais livres proporcionalmente à sua área. Além disso, absorvem calor e aceleram a reação de polimerização, reduzindo o comprimento de cadeia. Especificamente sobre os compósitos fotoativados, sua influência sobre o grau de conversão pode ser fortemente dúbia: na superfície espalham a luz e favorecem a fotoativação; na profundidade, pode diminuir a cura justamente pelo efeito de difração da luz (ELIADES; VOUGIOUKLAKIS; PALAGHIAS, 1987). Uma exceção a tal afirmação seria as resinas nanoparticuladas, com tamanhos de carga próximos a 50 nanômetros; como o menor comprimento de luz visível corresponde a 0,4 micrômetros, não haveria possibilidade de difração da luz pelas partículas inorgânicas do material, o que explica o maior grau de translucidez desse grupo de resinas compostas (MITRA; WU; HOLMES, 2003).

Ainda sobre a composição das resinas compostas, o sistema de ativação da polimerização parece levar a graus de conversão semelhantes tanto nos

compósitos ativados quimicamente como naqueles por aplicação de luz, desde que usado o mesmo sistema de monômeros para a matriz. Ruyter e Oysaed (1987) encontraram para ambos valores entre 54,5 e 73%, intervalo similar ao encontrado por outros autores na literatura (ASMUSSEN, 1982; FERRACANE; GREENER, 1984; RUYTER; OYSAED, 1988; YOON et al., 2002).

## **2.2 Meios diretos e indiretos de obtenção do grau de conversão**

A mensuração do grau de conversão de um compósito pode ser feita através de diversos métodos, subdivididos basicamente em duas categorias: diretos e indiretos.

Indiretamente, a obtenção do grau de conversão se faz através de testes de propriedades mecânicas, como dureza e resistência flexural (FERRACANE; GREENER, 1986). Historicamente, são meios muito utilizados em estudos, pela facilidade de preparação do espécime, disponibilidade de equipamento e domínio geral da metodologia.

Entretanto, algumas desvantagens das técnicas indiretas são descritas pela literatura. Embora a correlação entre grau de conversão e dureza seja positiva, aumentos mais significativos nos valores de dureza ocorrem apenas acima de 85% de conversão. Outro ponto a ser considerado é o fato de que a propriedade de dureza não pode ser usada para a obtenção de graus de conversão em materiais diferentes, já que variáveis na composição da resina

(tipo, concentração de carga, estrutura da matriz) poderiam interferir nos resultados de dureza Knoop (ELIADES; VOUGIOUKLAKIS, PALAGHIAS, 1987; FERRACANE, 1985).

Assim, o uso das técnicas diretas ganhou espaço mais recentemente, devido a sua maior sensibilidade (ELIADES; VOUGIOUKLAKIS, PALAGHIAS, 1987). Dentre esses métodos destacam-se a espectroscopia (FTIR e Raman) e as baseadas na mensuração da quantidade de calor gerada por toda a amostra durante a cura (DSC ou “differential scanning calorimetry”).

Em relação à espectroscopia, uma grande variedade de técnicas e equipamentos está disponível. Para o FTIR (“Fourier Transform Infrared”), são usados tanto métodos por reflexão como por refração. Este último apresenta a desvantagem de exigir o preparo de amostras com espessuras muito pequenas, o que pode ser uma situação problemática para materiais friáveis. Ainda como desvantagem do FTIR pode-se afirmar que, para materiais com carga, a fração inorgânica pode causar interferências nas bandas de interesse (SHIN et al., 1993).

Enquanto o FTIR caracteriza-se por ser um método de absorção, o Raman se mostra uma técnica “por espalhamento”, na qual a amostra é colocada a certa distância do cristal de reflexão (ATR), o que facilita sua manipulação. Portanto, a diferença básica entre eles é o meio através do qual a energia do fóton é transmitida para a molécula (PIANELLI et al., 1999).

Se o equipamento Raman apresentava inicialmente pouca sensibilidade e interferência da fluorescência do compósito no sinal de interesse, o FT-Raman surgiu para eliminar essas desvantagens. Seu avanço é o uso de um laser IR

como fonte de excitação das moléculas, o que o torna uma técnica híbrida. Nele, qualquer espessura e geometria de amostra podem ser usadas, as partículas de sílica não interferem na curva usada para o cálculo de conversão e a vibração C=C dos dimetacrilatos é bem distinguida (SHIN et al., 1993).

### **2.3 Influência do modo de aplicação da luz sobre o grau de conversão e adaptação marginal**

A forma de fornecer energia para a fotoativação dos compósitos é a variável mais utilizada pelos clínicos, e também um dos fatores que produz maiores efeitos sobre o resultado final da restauração.

Sabe-se que a situação ideal procurada pelo profissional é a obtenção de uma restauração com alto desempenho frente a solicitações mecânicas, e ao mesmo tempo, com o máximo de selamento marginal. Entretanto, a conciliação de tais características por muito tempo parece contraditória, por se relacionarem de formas opostas ao grau de conversão.

Enquanto uma alta conversão se manifesta através de boas propriedades mecânicas (RUEGGEBERG et al., 1994), um baixo grau de conversão leva a uma menor contração de polimerização, já que a quantidade de monômeros unidos em uma rede polimérica é também menor. Assim, a manutenção da integridade do selamento adesivo ficaria facilitada (UNO; ASMUSSEN, 1991).

Sabe-se que a magnitude total de contração do material depende principalmente do grau de conversão alcançado e de sua composição. Em relação à matriz, pode-se afirmar que quanto menores as moléculas de monômero utilizadas, maior será a contração de polimerização, já que a densidade de duplas ligações é maior. Dessa forma, após a formação da rede polimérica, menor será o espaço ocupado pelas moléculas que passaram a apresentar ligações covalentes simples. Sobre a quantidade de carga incorporada à matriz, quanto maior ela for, menor será a contração do material, já que isso resultará em uma diminuição do conteúdo orgânico do compósito, esse sim responsável pela contração de polimerização.

Por outro lado, o surgimento das tensões decorrentes da contração de polimerização depende de outros aspectos, relacionados à dinâmica da reação de polimerização. Sabe-se que no início da reação de polimerização o compósito apresenta capacidade de escoamento, pois há a possibilidade de deslizamento entre as cadeias de polímeros em formação. Conseqüentemente, seu limite elástico é alto, o que permitiria a ocorrência de deformações plásticas para liberação das tensões internas. Portanto, métodos capazes de prolongar a fase pré-gel poderiam diminuir os valores de tensão de contração.

Valendo-se de tal princípio e em uma tentativa de manter o grau de conversão sem perda da adaptação marginal do compósito, estudos foram conduzidos no sentido de explorar a velocidade da reação de polimerização. Foi determinado que com a diminuição dessa velocidade, ocorreria um atraso no ponto gel, quando o número de ligações cruzadas ainda não é suficientemente grande para provocar o aumento do módulo de elasticidade do

compósito (DAVIDSON; FEILZER, 1997; WATTS; CASH, 1991). Na teoria, o ponto gel ocorreria, nas reações de monômeros tetrafuncionais, com menos de 1% de conversão (JANCAR; WANG; DIBENEDETTO, 2000). Entretanto, na prática, ligações entre moléculas que não resultam em ligações cruzadas efetivas fazem com que esse ponto seja alcançado por volta dos 5% de conversão (VERSLUIS et al., 1998).

A contração de polimerização continua após o estabelecimento do ponto gel, e a taxa máxima de velocidade da reação é encontrada na faixa entre 10 e 20% de conversão, dependendo da viscosidade do material (TRUJILLO; NEWMAN; STANSBURY, 2004). Em seu trabalho de 2002, Braga e Ferracane demonstraram que a partir de determinado ponto um pequeno aumento do grau de conversão causa grande variação no estresse de contração, perdendo-se a relação de linearidade entre os dois parâmetros. Utilizando uma potência de 184mW/cm<sup>2</sup>, os autores não encontraram aumentos significativos no grau de conversão com tempos de irradiação iguais ou superiores a 60s. Entretanto, com o uso de 60 e 120s foram encontrados os maiores valores de tensão de contração. A explicação para esse fenômeno também está relacionada ao aumento do módulo de elasticidade do material, e sua incapacidade de escoar com a progressão da formação das cadeias poliméricas.

A variação da velocidade da reação pode ser promovida através do uso das chamadas técnicas “soft-start” ou de qualquer método que diminua o montante de energia inicial fornecido ao compósito. O distanciamento da ponta do aparelho fotopolimerizador, por exemplo, poderia causar tal efeito.

### 2.3.1 Uso das técnicas “soft-start”

Segundo o estudo de Mehl, Hickel e Kunzelmann (1997), as chamadas técnicas “soft-start” seriam aquelas nas quais a intensidade inicial de luz seria baixa, para permitir uma pré-polimerização sem causar estresse da interface adesiva, seguida de uma segunda etapa com irradiação de alta intensidade, com o objetivo de aumentar as propriedades mecânicas. Em sua metodologia, os autores adotaram a intensidade referencial de 400mW/cm<sup>2</sup>, que corresponderia a 100% de irradiação. A máxima adaptação marginal ocorreu com intensidades de luz iniciais de 56 e 70% por 20 segundos, com uma segunda fase de polimerização a 100% por 40 segundos. Intensidades iniciais mais baixas não seriam recomendadas por causarem grande diminuição da velocidade da reação, o que permitiria saída de fluido dentinário e redução da adesão na interface; por outro lado, intensidades iniciais maiores não seriam capazes de retardar o ponto-gel da reação de polimerização.

Existem vários métodos de aplicação de luz que se encaixam nessa definição. A técnica denominada “ramp” utiliza uma baixa intensidade de luz inicial que aumenta gradativamente. Já o método em pulso, descrito por Kanca e Suh (1999), caracteriza-se pela aplicação de uma primeira etapa com baixa intensidade de luz, seguida de período de espera de 3 a 5 minutos, e uma segunda etapa de fotoativação com potência maior dada pelo fotopolimerizador. Por fim, na técnica em degrau são utilizadas duas



intensidades de luz, uma primeira baixa por um determinado tempo; seguida de uma outra com maior fornecimento de energia (SANTOS, SOUZA, MONDELLI, 2002).

Koran e Kurschner (1998) demonstraram que a polimerização em dois passos leva a valores similares de dureza e concentração de monômeros residuais, se comparada à irradiação de forma contínua, desde que seja mantida a mesma dose de energia na irradiação do compósito. Além disso, a menor quantidade de calor gerada na técnica "soft-start" causaria menor dano ao tecido pulpar. Já em seu trabalho, Bouschlicher e Rueggeberg (2000) correlacionaram a técnica em rampa ou o uso de menor densidade de energia inicial à diminuição da velocidade da reação, sem que necessariamente houvesse redução da tensão de contração da resina composta. Isso sugere que a densidade de energia usada na primeira etapa deve ser suficientemente baixa para retardar o ponto-gel, ou nenhum ganho na liberação do estresse de contração ocorreria. Provavelmente esta seja a explicação para a ausência de correlação encontrada por Yap, Ng e Siow (2001) entre o regime de polimerização "soft-start" e o padrão de contração do compósito, já que a intensidade de luz inicial usada ( $354\text{mW/cm}^2$ ) parece ser muito alta para garantir tempo de escoamento ao material. Obici et al (2002) conseguiram redução na formação de gaps quando do uso das técnicas em pulso ou degrau (12,79 e 13,26 micrometros respectivamente, em oposição a 15,88 micrometros para a irradiação contínua). Já Amaral et al. (2004) não observaram alterações na formação de gaps e microinfiltração para modos de irradiação semelhantes.

Se a eficiência das técnicas “soft-start” em promover redução da tensão de contração e microinfiltração na interface ainda é discutida, parece não haver discordância sobre seu efeito sobre a efetividade de cura. Assim, o grau de conversão medido direta ou indiretamente para esses métodos parece similar ao encontrado para irradiações contínuas de luz a uma alta intensidade (BOUSCHLICHER; RUEGGERBERG; BOYER, 2000; EMANI; SODERHOLM, 2005; YAP; NG; SIOW, 2001).

### 2.3.2 Efeito do distanciamento da fonte de luz

O posicionamento da fonte de luz em contato com a superfície do compósito nem sempre é uma situação praticável na clínica. Principalmente no preenchimento de cavidades classe II médias e profundas, a ponta do fotopolimerizador fica a uma certa distância da resina composta, sendo, portanto, necessária a avaliação da interferência desse fator na qualidade da restauração realizada.

Swartz, Phillips e Rhodes (1983) mostraram que distâncias de 3mm causavam redução da dureza a 1mm de profundidade. Pires et al. (1993) determinaram que a dureza da face irradiada pelo fotopolimerizador praticamente não se alterava com o aumento da distância da fonte de luz. Entretanto, a dureza na região profunda da amostra era reduzida com o aumento do distanciamento, o que demonstra a diminuição da profundidade de

cura nessa situação. Amostras irradiadas com a distância de 2, 6 ou 12 mm apresentaram valores de dureza estatisticamente semelhantes entre si, mas menores do que aqueles encontrados para os grupos onde a fotoativação foi feita em contato com a resina. Nesse mesmo ano, Rueggeberg e Jordan encontraram decréscimo no grau de conversão com distâncias de irradiação maiores do que 4 mm, sendo a maior diferença sentida nas porções mais profundas do compósito.

No estudo realizado por Hansen e Asmussen (1997), os testes estatísticos não demonstraram variação nos valores de dureza a uma profundidade de 3mm, independente da distância de irradiação. Os autores estimaram teoricamente a profundidade de cura para cada distância, extrapolando números obtidos com a análise de regressão. Para as distâncias de 0, 6 e 12 mm a profundidade de cura seria respectivamente de 6,3, 5,8 e 5,2, muito discordantes das encontradas por Watts, Amer e Combe (1984). Infelizmente, os autores não fazem referência às intensidades de luz fornecidas com os fotopolimerizadores utilizados no trabalho.

Por fim, Leloup et al. (2002) utilizaram a espectroscopia FT-Raman para avaliar a influência do distanciamento da fonte de luz. Os autores não encontraram efeito no grau de conversão para amostras de 2,5mm com distâncias de até 10mm.

### 3 PROPOSIÇÃO

Os objetivos do presente estudo foram:

- Avaliar a influência do modo de fotoativação sobre o grau de conversão e microinfiltração de um compósito, comparando regimes de fornecimento de luz de forma contínua ou em duas etapas.
- Verificar a influência do distanciamento da fonte de luz sobre o grau de conversão e microinfiltração do mesmo compósito.
- Verificar como grau de conversão e microinfiltração se relacionam com a densidade de energia fornecida ao compósito.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Para esse estudo foi utilizada a resina composta Esthet-X (Caulk/Dentsply) de cor A2. Para a fotopolimerização das amostras foi escolhido um aparelho que permitisse a programação da intensidade de luz e tempo (VIP; BISCO, Schaumburg, IL, USA). O fotopolimerizador VIP é adequado a esse uso por apresentar as seguintes intensidades pré-programadas: 100, 200, 300, 400, 500 e 600 mW/cm<sup>2</sup>. O tempo de irradiação pode ser determinado entre as opções: 2, 3, 4, 5, 10, 20 ou 30 segundos, assim como modo contínuo até 225 segundos. Embora o aparelho possua radiômetro próprio para auto-calibração, foi também usado um outro medidor (Model 100 Optilux Radiometer/Kerr) para verificar a fidelidade da intensidade de luz irradiada no teste.

### **4.1 Análise do grau de conversão**

#### **4.1.1 Confeção das amostras para avaliação do grau de conversão**

Para a obtenção dos corpos de prova foi usada uma matriz de teflon cilíndrica, de altura 2mm e com abertura interna de 5 mm de diâmetro. Este

espaço foi preenchido com a resina Esthet -X. A matriz ficou interposta entre duas folhas de acetato, para proporcionar lisura superficial às amostras.

Para proporcionar um correto distanciamento entre a fonte de luz e a resina, foram colocados anéis espaçadores opacos com diferentes alturas (3 e 7 mm) e com abertura interna similar à da matriz de teflon (ver Figura 4.1). A figura 4.2 ilustra a disposição do material citado.



Figura 4.1 – Matrizes de teflon usadas na a confecção das amostras para análise de grau de conversão

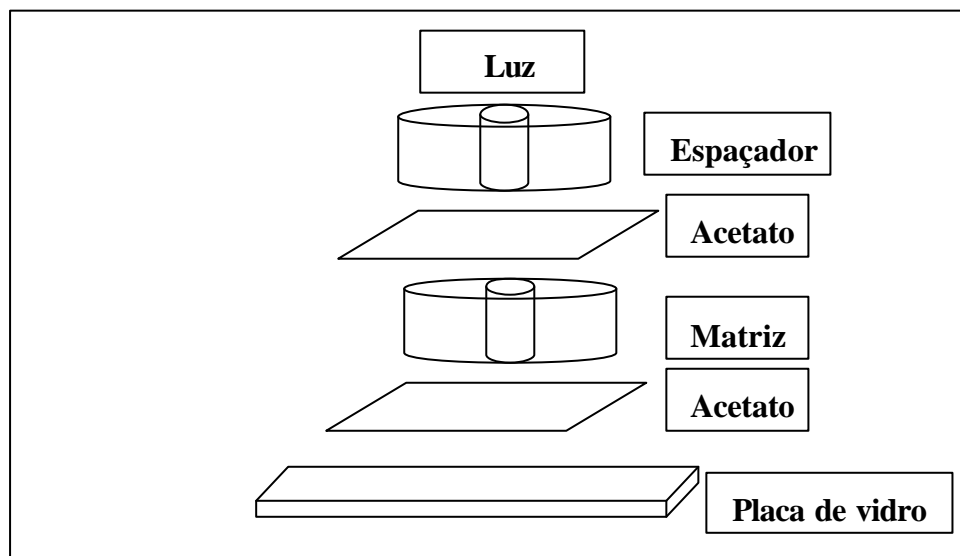


Figura 4.2 - Ilustração dos materiais utilizados para a obtenção das amostras

Seguiu-se então a polimerização das amostras, de acordo com sua inclusão em um dos 9 grupos de estudo, que variam entre si a intensidade de luz, o tempo de irradiação e a distância da fonte ao compósito (tabela 4.1). É importante notar que em função do distanciamento da ponta do fotopolimerizador em relação à superfície do compósito, existe perda de parte da energia fornecida pelo aparelho. A densidade de luz recebida pela amostra foi calculada com a intensidade de luz mensurada quando foi interposto os anéis espaçadores (3 e 7mm) entre o radiômetro e a ponta do fotopolimerizador.

Tabela 4.1 - Grupos de estudos segundo a forma de polimerização

Grupo	Intensidade de luz gerada pelo aparelho (mW/cm <sup>2</sup> )	Intensidade de luz recebida pela amostra (mW/cm <sup>2</sup> )	Tempo de irradiação (s)	Distância fonte-compósito (mm)	Densidade de luz fornecida pelo aparelho (J/cm <sup>2</sup> )	Densidade de luz recebida pela amostra (J/cm <sup>2</sup> )
1	600	600	40	0	24,0	24,0
2	600	520	40	3	24,0	20,8
3	600	350	40	7	24,0	14,0
4	400	400	60	0	24,0J	24,0
5	400	340	60	3	24,0J	20,4
6	400	260	60	7	24,0J	15,6
7	Etapa 1: 200 Etapa 2: 500	Etapa 1: 200 Etapa 2: 500	Etapa 1: 20 Etapa 2: 40	0	24,0J	24,0
8	Etapa 1: 200 Etapa 2: 500	Etapa 1: 170 Etapa 2: 420	Etapa 1: 20 Etapa 2: 40	3	24,0J	20,2
9	Etapa 1: 200 Etapa 2: 500	Etapa 1: 130 Etapa 2: 300	Etapa 1: 20 Etapa 2: 40	7	24,0J	14,6

Para cada grupo foram feitos três corpos de prova. Após a polimerização eles foram armazenados em ambiente escuro e seco por 24 horas, e então submetidos ao teste de grau de conversão. Tanto a face voltada para o fotopolimerizador (irradiada), como a oposta (não irradiada) foram consideradas e avaliadas. A importância da análise da face profunda relaciona-se com a profundidade de cura da resina composta. Para a obtenção do espectro da resina composta foi utilizado o espectrofotômetro FT-Raman (RFS 100/S, Bruker), com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e 64 scans, do Departamento de Polímeros do Instituto de Química da USP (Figura 4.3). Este aparelho apresenta como fonte de excitação das moléculas da amostra um laser de neodímio-YAG, cujo comprimento de onda é de 1064nm, próximo ao do infravermelho. Assim, os corpos de prova são posicionados na direção do feixe de laser e a radiação retroespalhada é captada por um espectrofotômetro, responsável por traduzir as vibrações em um espectro, caracterizado por bandas e picos.

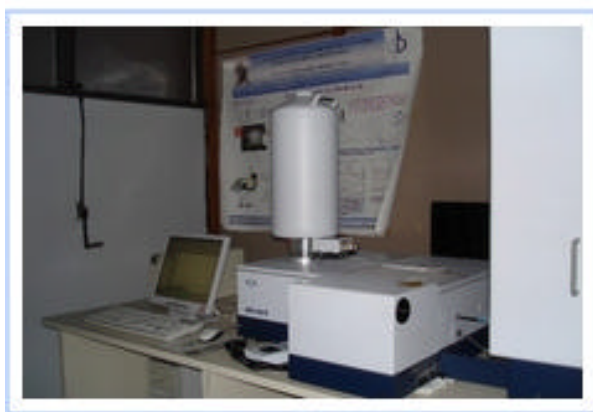


Figura 4.3 – FT-Raman utilizado para a obtenção do grau de conversão



#### 4.1.2 Cálculo do grau de conversão

Inicialmente se realizou uma análise de amostra não polimerizada da resina composta estudada. Em seu espectro, calculou-se a razão entre a quantidade de ligações aromáticas e alifáticas de carbono, que correspondem aos picos de 1610cm<sup>-1</sup> e 1640cm<sup>-1</sup> respectivamente. O pico aromático C=C se origina dos anéis benzênicos das moléculas de monômero e sua intensidade permanece inalterada durante a polimerização.

Procedeu-se da mesma maneira para as amostras polimerizadas do compósito, de acordo com um dos 9 grupos estudados. Através da comparação entre as razões obtidas na resina não polimerizada e na polimerizada concluiu-se quanto das ligações C=C alifáticas se transformou em ligações simples C-C, caracterizando a conversão.

A fórmula utilizada para o cálculo do grau de conversão está expressa a seguir:

$$GC(\%) = 100 [ 1 - (R \text{ polimerizado} / R \text{ não polimerizado}) ] ;$$

R = razão entre o pico de 1640cm<sup>-1</sup> e o pico de 1610cm<sup>-1</sup>.

Os dados foram tabulados e analisados através do método estatístico de Análise de Variância (ANOVA) com 3 fatores, sendo eles: modo de aplicação da luz, distância da fonte/compósito e face, este vinculado.

## 4.2 Teste de Microinfiltração

### 4.2.1 Confeção das amostras para microinfiltração

Para a análise da microinfiltração foram utilizados 90 incisivos bovinos íntegros estocados em solução aquosa de Cloramina T 0,5% por até 90 dias. Os dentes foram distribuídos aleatoriamente nos nove grupos estudados (n=10), que seguiram as mesmas condições de polimerização descritas para o estudo do grau de conversão. Com o auxílio de uma ponta diamantada (2094), foi preparada, na face vestibular de cada dente, uma cavidade classe V com dimensões de 4mm de comprimento, 2mm de largura e 2mm de altura. Para a restauração dos dentes, foram realizados condicionamentos das cavidades com ácido fosfórico a 37% durante 15 segundos. Em seguida, os dentes foram lavados e secos para a remoção do excesso de água, deixando-se, entretanto, a dentina úmida. Foi então aplicado o sistema adesivo Prime & Bond NT (Caulk/Dentsply), sendo o excesso de solvente removido com leve jato de ar. O adesivo foi fotopolimerizado com uma intensidade de 600mW/cm<sup>2</sup> durante 10 segundos. O preenchimento da cavidade foi feito com a resina composta Esthet-X (Caulk/Dentsply) em um só incremento e fotopolimerizado de acordo com os grupos experimentais da tabela 4.1

Após a restauração realizada, os dentes foram mantidos em água destilada por 7 dias, período após o qual foi feito o preparo das amostras para o protocolo de infiltração por nitrato de prata.

#### 4.2.2 Avaliação da microinfiltração

Todas as superfícies de cada dente foram cobertas com duas camadas de esmalte de unhas, respeitando-se o limite de 1mm da margem da restauração. A microinfiltração foi medida através do método de penetração de corante. Para que não ocorresse entrada do corante pelo ápice, os dentes foram posicionados de forma a apenas permitir a imersão da coroa nas soluções descritas a seguir. As amostras foram imersas em solução de nitrato de prata a 50% a 37°C por 2 horas, e depois lavadas em água corrente por 2 minutos. Seguiu-se um período de 12 horas no qual os dentes permaneceram imersos em revelador radiográfico. Com o uso de um disco diamantado (Labcut 1010, Extec Corp, Enfield, CT, USA), as restaurações foram seccionadas pela realização de dois cortes paralelos no sentido vestibulo-lingual, resultando em um total de três fragmentos e quatro superfícies de leitura. A figura 4.4 mostra os passos para a confecção das amostras. Uma escala de pontos foi usada para medir a microinfiltração nas margens de esmalte e dentina. Os critérios utilizados para a pontuação foram:

0 = Sem infiltração marginal

1 = Penetração do corante até metade da profundidade da cavidade

2 = Penetração do corante maior do que metade da profundidade da cavidade  
cavidade

3 = Penetração do corante estendendo até a parede axial da cavidade

Cada corte foi analisado em um estereomicroscópio (Bausch and Lomb, Bern, Switzerland) com um aumento de 25 vezes para a verificação desses critérios. Os dados foram tabulados e submetidos à análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis, onde as amostras foram comparadas duas a duas.

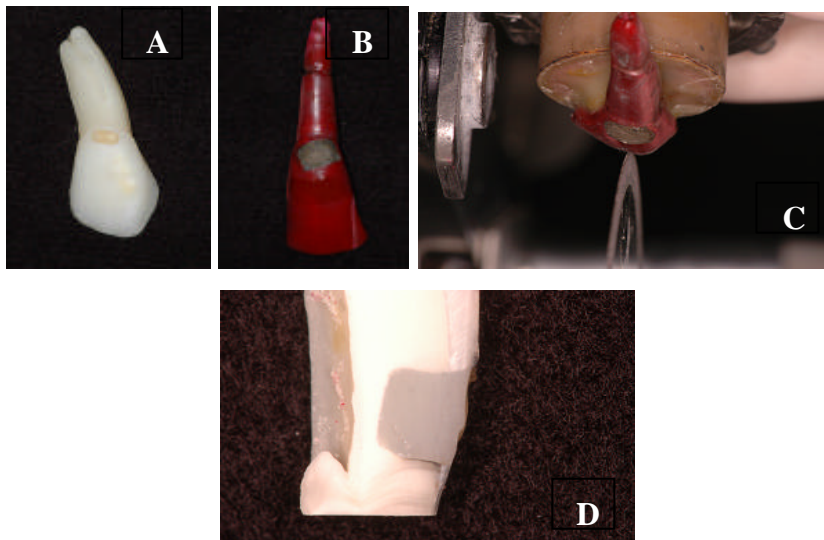


Figura 4.4 – A: Cavidade classe V confeccionada em dente bovino; B: Dente isolado após infiltração com nitrato de prata; C: Processo de corte do dente com disco diamantado; D: Vista da secção da restauração

## 5 RESULTADOS

A Figura 5.1 demonstra um esquema representativo do espectro obtido através do Raman para a resina composta Esthet-X antes e após a polimerização.

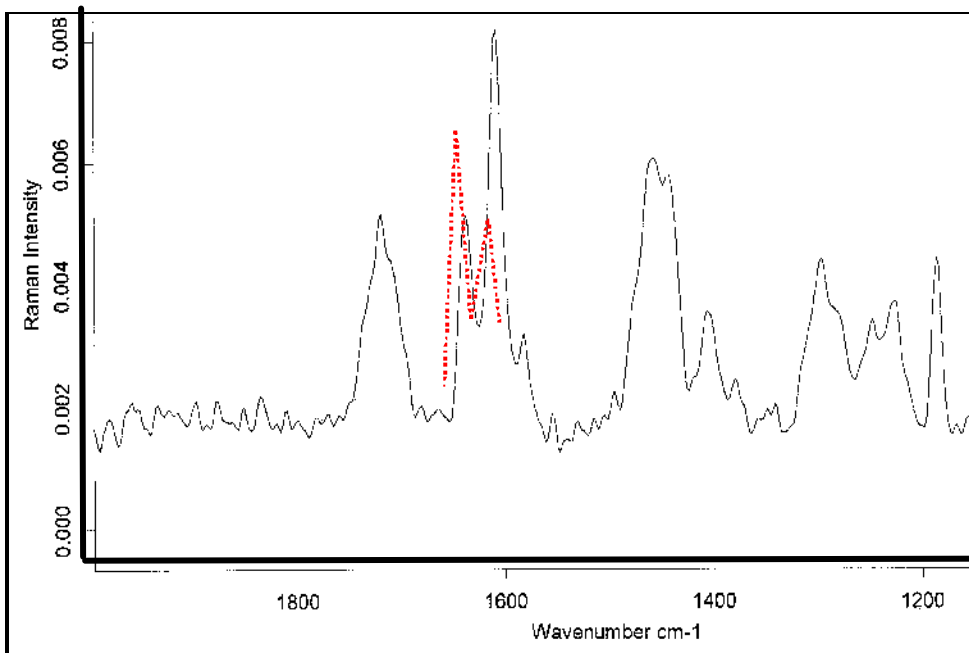


Figura 5.1 - Espectros obtidos com FT-Raman para amostras não-polimerizada (em vermelho) e polimerizada

Os valores numéricos de grau de conversão obtidos com a análise das amostras e a respectiva análise estatística (ANOVA) estão expressos nas Tabelas A e B (apêndice).

A análise de variância demonstrou não existirem diferenças estatisticamente significativas ( $p=0,14$ ) entre os valores de grau de conversão para o fator modo de aplicação da luz (intensidade-tempo). A tabela C (apêndice) mostra as médias para esse fator de variação. Por outro lado, a distância da fonte de luz à superfície do compósito mostrou influenciar a conversão de maneira significativa ( $p<0.01$ ). Foram encontradas para 0, 3 e 7mm as seguintes médias nos valores de grau de conversão: 59,13%, 58,62% e 56,86% respectivamente (Tabela D, apêndice). Através do teste de Tukey constatou-se que há diferença estatística significativa apenas entre os grupos caracterizados por distâncias de 0 e 7 mm. A distância intermediária de 3 mm comporta-se de maneira semelhante tanto à distância de 0 como à de 7 mm em todos os grupos.

A Tabela 5.1 mostra os valores das médias para a interação modo de aplicação da luz e distância. Através dessa tabela, pode-se notar que o grupo irradiado com uma intensidade de  $600\text{mW/cm}^2$  demonstrou marcada diminuição do grau de conversão quando a fonte de luz foi colocada na superfície da resina composta e a 7 mm dela. Apesar disso, a conversão produzida por esse modo de aplicação da luz não foi diferente daquelas alcançadas com outras formas de polimerização para as mesmas distâncias da fonte. A Figura A (apêndice) ilustra os resultados obtidos para a interação distância da fonte e modo de irradiação.

Tabela 5.1- Médias do grau de conversão obtidas para cada um dos grupos (com respectivos desvios-padrão em parênteses), de acordo com a forma de polimerização e distância fonte-compósito. Letras diferentes caracterizam diferenças estatisticamente significativas. Valor crítico de Tukey calculado: 4.13002

<b>INTENSIDADE (mW/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>DISTÂNCIA FONTE-COMPÓSITO (mm)</b>	<b>GRAU DE CONVERSÃO (%)</b>
600	0	60.75000 (2.86) a
600	3	58.33333 (2.14) ab
600	7	55.80000 (0.68) b
400	0	59.13333 (1.18) ab
400	3	57.98333 (4.68) ab
400	7	56.85000 (1.70) ab
200 + 500	0	57.51666 (1.59) ab
200 + 500	3	59.53334 (2.07) ab
200 + 500	7	57.91667 (3.31) ab

Houve também diferenças significativas quando comparadas as médias de grau de conversão das faces irradiadas e não irradiadas ( $p < 0.05$ ). Nesse caso, não ocorreu influência do modo de polimerização ou da distância da fonte de luz. A Tabela E (apêndice) mostra as médias para o fator de variação face.

Em relação ao teste de microinfiltração, a realização dos testes de aderência à curva normal e de homogeneidade de Cochran revelou a necessidade de utilização de um teste não-paramétrico para a análise dos dados. Assim, o teste de Kruskal-Wallis foi usado para a comparação de amostras, duas a duas. O valor (H) calculado foi de 27,62, e o nível de significância alcançado de 1%.

O fator modo de aplicação de luz mostrou interferência nas médias dos escores de microinfiltração, sobretudo quando comparados os grupos irradiados com a maior e a menor intensidade inicial de luz ( $600\text{mW}/\text{cm}^2$  e  $200\text{mW}/\text{cm}^2$ ). A Figura B e a Tabela F (apêndice) ilustram as variações nos escores de microinfiltração para os nove grupos de estudo.

Entre eles, a diferença estatisticamente significativa foi de 5% para a irradiação com  $24\text{J}/\text{cm}^2$ , ou seja, quando a ponta do fotopolimerizador foi mantida diretamente em contato com a superfície da amostra. As amostras do grupo 4 ( $400\text{mW}/\text{cm}^2$ , 0mm de distância, 60s), também irradiadas com tal densidade de energia, mostraram comportamento estatisticamente semelhante tanto ao grupo 1 como ao grupo 7.

Para os grupos onde houve distanciamento da ponta do fotopolimerizador, não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos irradiados com as três diferentes formas de aplicação da luz, com exceção das comparações realizadas com o grupo 9 ( $200\text{mW}/\text{cm}^2 + 500\text{mW}/\text{cm}^2$ , distância de 7mm,  $14,6\text{J}/\text{cm}^2$ ). Este grupo demonstrou escores de microinfiltração menores do que qualquer outro, até mesmo daqueles onde o afastamento de 7mm também foi usado (significância de 1%). O fator distância da ponta do fotopolimerizador comportou-se de maneira distinta para cada forma de aplicação da luz. Nos grupos onde a intensidade de  $400\text{mW}/\text{cm}^2$  foi utilizada, não houve diferença estatisticamente significativa para quaisquer dos três distanciamentos usados. Por outro lado, nas amostras irradiadas com  $600\text{mW}/\text{cm}^2$  houve diferença com significância de 5% na comparação da distância de 0mm com as duas outras testadas (densidade de energia de



24J/cm<sup>2</sup>, 20,8J/cm<sup>2</sup> e 14,0J/cm<sup>2</sup> para 0, 3 e 7mm, respectivamente). Em relação aos grupos irradiados de forma “stepped”, apenas aquele onde a distância de 7mm (14,6J/cm<sup>2</sup>) foi usada demonstrou escores estatisticamente menores (significativo ao nível de 1%) do que os demais.

O teste de correlação de Spearman foi usado para a verificação das possíveis relações entre grau de conversão e microinfiltração. Através desse método foi constatada a não existência de correlação entre esses parâmetros. A Tabela G (apêndice) mostra o valor crítico calculado e a probabilidade H0 calculada pelo teste.

## 6 DISCUSSÃO

Uma das situações mais críticas para o uso de materiais resinosos na clínica diz respeito ao preenchimento de cavidades com faces proximais envolvidas em dentes posteriores. Portanto, trabalhos “in vitro” que simulem tal condição de fotopolimerização encontrada na prática contribuem para a melhoria das técnicas executadas pelos profissionais. Nesse estudo, o distanciamento da ponta do aparelho fotopolimerizador em relação à superfície do compósito objetiva reproduzir o padrão de fornecimento de luz esperado nos primeiros incrementos de compósito inseridos em espessura de 2mm em cavidades proximais de lesões classe II médias e profundas. Esta seria uma modificação do método sugerido pela maior parte dos trabalhos da mesma natureza, que não levam em consideração esse parâmetro clínico e colocam em contato direto fonte de luz e resina composta. Como já demonstrado por Hansen e Asmussen (1997), a distância entre a fonte e a parede gengival de cavidades proximais em dentes posteriores pode chegar a 7 mm nos molares superiores. Assim sendo, é importante que uma adequada fotopolimerização seja alcançada, mesmo em condições onde a fonte de luz está afastada do material restaurador.

A escolha da resina composta Esthet-X para o presente estudo se deu em função de alguns fatores. Além de apresentar uma grande aceitação no mercado odontológico, por suas excelentes características estéticas e propriedades mecânicas elevadas, possibilita o estudo do grau de conversão. É

importante aqui salientar que o tempo de irradiação sugerido pelo fabricante para este compósito é de apenas 20s, supondo-se que seja utilizada uma fonte de luz de alta intensidade. Entretanto, no presente estudo, todos os grupos de estudo foram irradiados durante pelo menos 40s. Portanto, tal fato pode ter contribuído para a pequena variação nos valores de grau de conversão obtidos nos 9 grupos experimentais.

A influência do fator distância da ponta do aparelho fotopolimerizador ainda é controversa na literatura. Nos trabalhos onde o grau de conversão foi obtido de forma indireta, alguns autores não encontraram variações nas amostras irradiadas com o afastamento da luz (ABATE; ZAHRA; MACCHI, 2001), ou notaram apenas uma diminuição da polimerização da subsuperfície (PIRES et al., 1993). Entretanto, sabe-se que o teste de microdureza utilizado nesses casos não estima com exatidão o grau de polimerização da resina em questão, já que seus resultados podem variar em função de outros aspectos, como por exemplo, a quantidade de carga presente naquele compósito (CHUNG, 1990; ELIADES; VOUGIOUKLAKIS; PALAGHIAS, 1987; FERRACANE, 1985).

Mesmo nos estudos que calcularam o grau de conversão por meio direto, não há concordância entre resultados. Para a avaliação das amostras, destacam-se métodos de avaliação com espectroscopia, entre eles o Raman e o FTIR. Enquanto Leloup et al. (2002) não encontraram variações significativas para o afastamento da fonte em até 10mm, no presente trabalho houve diminuição do grau de conversão com o aumento da distância da ponta do fotopolimerizador, da mesma forma que concluíram Rueggeberg e Jordan

(1993). Como afirmado durante a análise dos resultados do presente estudo, os testes estatísticos acusaram diferença significativa apenas entre 0 e 7mm. Assim, o distanciamento da ponta do aparelho seria um fator modificador da densidade de energia recebida pela amostra, que é em última instância, o que determina um maior ou menor grau de polimerização (YOON et al., 2002). A discordância entre os resultados encontrados por Leloup et al. e por este trabalho poderia ser explicada pelo comportamento distinto de cada material frente às condições de polimerização, que depende, sobretudo, do seu sistema de fotoativação (HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002), tipo e proporção entre os monômeros (SIDEROU; TSERVI; PAPANASTASIOU, 2002).

Já que a distância intermediária de 3mm para irradiação comportou-se estatisticamente da mesma forma que as de 0 e 7mm, seria possível supor que apenas variações maiores do que  $6\text{J}/\text{cm}^2$  (diferença máxima medida entre os grupos, mais especificamente grupos 8 e 9, para a densidade de energia recebida - ver Tabela 4.1) provocariam aumento do grau de conversão, desde que fornecida a energia mínima de  $14\text{J}/\text{cm}^2$ , tal limite encontrado nos grupos 3 e 9. Esse resultado está de acordo com os achados de Lovell, Newman e Bowman (1999), que afirmam não existir um aumento linear para o grau de conversão além de uma determinada dose de energia, e com os de Emani e Söderholm (2003), nos quais os autores concluem que para uma espessura de 2mm de material, pequenas densidades de energia ( $5\text{-}15\text{J}/\text{cm}^2$ ) já seriam suficientes para produzir conversão relativamente alta na face irradiada e na profundidade. Também com resultados compatíveis e complementares a este

estudo, Pianelli et al. (1999) apresentaram a conclusão de que compósitos que receberam menos de  $12\text{J}/\text{cm}^2$  teriam sua resistência à compressão adversamente afetada.

A separação dos resultados, de acordo com a forma de polimerização, mostrou que quando foi utilizada uma intensidade mais alta ( $600\text{mW}/\text{cm}^2$ ) por um menor tempo, a diferença entre a conversão obtida com a ponta em contato direto com a resina e a 7 mm de sua superfície foi estatisticamente significativa, enquanto que a mesma diferença calculada para os grupos onde intensidades mais baixas foram usadas por maior tempo (Tabela 5.1) não foram significativas. Como concluído por Rueggeberg, Caughman e Curtis (1994), em amostras com 2 mm de espessura a eficiência do processo de polimerização não dependeria apenas da intensidade de irradiação, mas também do tempo de aplicação da luz e suas interações. Portanto, embora a aplicação de altas intensidades permita menor tempo de irradiação, a fotopolimerização produzida apresenta padrões de menor uniformidade, sendo provável a necessidade de irradiação por um tempo mínimo para compensar a perda de fótons causada pelo distanciamento da fonte.

Na superfície do compósito, onde não há perda de energia luminosa por interposição de material, mesmo baixas intensidades de energia são capazes de ativar a formação de radicais livres e levar à adequada polimerização (EMANI; SODERHOLM; BERGLUND, 2003; RUEGGBERG; JORDAN, 1993). No topo do material restaurador, apenas o tempo de irradiação é fator significativo que contribui para a conversão do monômero (RUEGGBERG; CAUGHMAN; CURTIS, 1994; SAKAGUCHI; BERGE, 1998). Assim, a camada

superficial da resina não é tão susceptível aos efeitos da intensidade de luz quando comparada a camadas mais profundas (YAP; SENEVIRATNE, 2001), o que corrobora com os resultados encontrados neste estudo, quando se comparam os valores de grau de conversão para a face irradiada e para a não irradiada (Tabela E, apêndice). Dessa forma explica-se o satisfatório grau de conversão atingido na superfície irradiada das amostras, independente da forma de polimerização, o que não ocorreu na profundidade do compósito.

A profundidade de cura nas resinas compostas pode variar em função de muitos aspectos. Ruyter e Oysaed (1982) afirmaram que o fator limitante é a dispersão luminosa no interior do material. Esse espalhamento é influenciado pelo tamanho da partícula de carga e seu índice de refração. Outro fator que interfere na profundidade de cura é a cor e a opacidade da resina composta utilizada. Pigmentos que produzem tons mais escuros dificultam a penetração da luz e a conseqüente conversão dos monômeros (DAVIDSON-KABAN et al., 1997; SWARTZ; PHILLIPS; RHODES, 1983). Para minimizar o efeito desse fator no estudo em questão, optou-se pela utilização da cor A2, assim como feito por Bayne, Heymann e Swift (1994). Desta forma os resultados obtidos neste estudo não devem ser extrapolados para compósitos com maior opacidade ou com maior saturação cromática, muito utilizados em incrementos mais profundos de restaurações de cavidades classe II.

Em geral, considera-se que camadas de até 2 mm de espessura apresentam polimerização uniforme (YAP, 2000). Em seu trabalho, Hansen e Asmussen (1997) encontraram valores similares para microdureza de amostras com profundidade de até 3 mm, mesmo com a variação da distância de

irradiação. Para outros autores (RUEGGBERG; JORDAN, 1993; RUEGGBERG et al., 1993) a profundidade de 2 mm é considerada crítica, podendo apresentar variações quanto à polimerização. Isso está de acordo com o resultado desse estudo, pois as amostras de 2 mm de espessura demonstraram um maior grau de conversão para a face irradiada (média de 59,00%) do que para a não irradiada (média de 57,40%). O mesmo foi concluído por Bouschlicher, Rueggeberg e Boyer (2000), utilizando o método FTIR para a avaliação da conversão. Em seu trabalho, os autores utilizaram a intensidade de  $800\text{mW/cm}^2$  para a irradiação das amostras, variando o tempo de aplicação da luz: 40 ou 60 segundos. Foi constatada então diferença estatisticamente significativa no grau de conversão em profundidade para as duas formas de irradiação, o que reforça a importância do fator tempo para a fotoativação de regiões mais profundas do material, desde que uma intensidade mínima de luz seja utilizada. Para Yap e Seneviratne (2001), tal intensidade seria de  $300\text{mW/cm}^2$ , pois o uso de menor energia não seria capaz de transpassar a camada de resina composta e ativar em quantidade suficiente os iniciadores da reação de polimerização. Dessa forma, o uso de camadas com essa espessura deve ser feito de forma parcimoniosa pelo profissional, tendo-se em mente que a polimerização alcançada em profundidade será menor do que a da superfície. Por outro lado, tal diferença é sutil, e pode não se manifestar como piora nas propriedades mecânicas do compósito.

A eficiência do processo de polimerização, seja em função da profundidade de cura ou do bom desempenho mecânico demonstrado pela resina composta, também está relacionada à forma como a dose de energia é

fornecida. Estudos comparam a ação de doses únicas, geralmente caracterizadas por alta intensidade luminosa, com doses múltiplas, com intensidades inicialmente baixas que podem aumentar de forma gradativa ou não (BOUSCHLICHER; RUEGGERBERG; BOYER, 2000; CUNHA et al., 2003; FEILZER et al., 1995; HACKMAN; POHJOLA; RUEGGERBERG, 2002; KORAN; KURSHNER, 1998; RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CHAN, 1999). Nesse estudo foram comparados 3 modos de polimerização, dois contínuos e um “stepped” (intensidade inicial de  $200\text{mW/cm}^2$  seguida de aumento brusco para  $500\text{mW/cm}^2$ ). As médias encontradas para  $600\text{mW/cm}^2$ ,  $400\text{mW/cm}^2$  e  $200\text{mW/cm}^2+500\text{mW/cm}^2$  foram respectivamente de 58,29%, 57,99% e 58,32%. A análise estatística demonstrou não haver interferência desse fator no grau de conversão das amostras, o que está de acordo com os resultados obtidos por Emani, Söderholm e Berglund (2003). Nos dois trabalhos optou-se pela utilização de grupos com a mesma densidade de energia, que é calculada pelo produto da intensidade e tempo de irradiação. Esse cálculo é o mesmo realizado por Peutzfeldt, Sahafi e Asmussen (2000), e que se mostrou eficiente para mensurar a dose de luz dada ao compósito. Vale lembrar que no presente trabalho a comparação deve ser feita apenas entre os grupos com as mesmas distâncias de irradiação, pois apenas dessa maneira a densidade de energia pode ser considerada equivalente, ou muito próximo disso. Portanto, mais do que uma intensidade maior ou menor de luz, o que determina o grau de polimerização da resina é a quantidade total de energia que ela recebeu (MIYASAKI et al., 1996; NOMOTO; UCHIDA; HIRASAWA, 1994). Conclui-se dessa forma que é recomendável iniciar a fotopolimerização de forma suave,



pois o grau de conversão alcançado é semelhante ao conseguido com intensidades altas, e a tensão de contração desenvolvida tende a ser menor (CALHEIROS et al., 2004).

Em estudos onde a densidade de energia não foi mantida, os autores encontraram comportamentos distintos para esses modos de polimerização (HACKMAN; POHJOLA; RUEGGERBERG, 2002; RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CHAN, 1999). Geralmente o grau de conversão obtido através do modo “stepped” ou “pulse-delay” foi menor do que para os grupos irradiados com uma só intensidade alta. Isso coincide com uma menor densidade de energia nesses grupos com baixa intensidade inicial de luz. Os próprios autores concluem que quando se aumenta o tempo de exposição para os modos de intensidades variadas (inicial baixa e posterior alta), seu comportamento se assemelha ao da forma contínua de fotopolimerização, o que explicaria a apenas aparente discordância entre tais resultados e aqueles obtidos no presente estudo.

Se, por um lado, o fator modo de polimerização não causou alterações no grau de conversão, sua interferência foi notada no teste de microinfiltração. Neste estudo a irradiação com a intensidade de  $600\text{mW/cm}^2$  demonstrou a maior média de escores (1,38, em contraposição às médias de 1,19 e 0,83 encontradas para  $400\text{mW/cm}^2$  e  $200\text{mW/cm}^2+500\text{mW/cm}^2$ ) dentre os grupos, ou seja, causou o maior descolamento na interface adesiva. Este achado está de acordo com muitos trabalhos na literatura (FEILZER et al., 1995; UNO; ASMUSSEN, 1991; UNTERBRINK; MUESSNER, 1995), que correlacionam altas intensidades de energia a uma alta contração de polimerização. Quando

uma alta intensidade de luz é usada na fotoativação, a formação de ligações cruzadas tende a ser rápida, bem como a formação de micropontos de material na fase gel. Como essas partículas começam a interagir e formar a rede polimérica, o material para de escoar e sua rigidez aumenta (EMANI; SODERHOLM; BERGLUND, 2003). É importante salientar que as diferenças estatísticas foram significativas na comparação entre os grupos que receberam de fato  $24\text{J}/\text{cm}^2$ . Já nos grupos onde o distanciamento da fonte causou a queda da intensidade de luz que chegava à superfície do compósito, os escores de microinfiltração foram similares, o que sugere que a queda de  $600\text{mW}/\text{cm}^2$  para  $520\text{mW}/\text{cm}^2$  ou a passagem de luz pelo ar (com perda de energia luminosa durante o percurso) antes de alcançar a resina composta sejam capazes de reduzir o estresse na interface adesiva.

A menor média de microinfiltração encontrada para o grupo irradiado com uma intensidade inicial de  $200\text{mW}/\text{cm}^2$  durante 40 segundos, e com uma distância de 7mm, explica-se por sua baixa intensidade de luz inicial, reportada por muitos autores como um meio eficiente para a redução dos efeitos deletérios da contração de polimerização (FEILZER; De GEE; DAVIDSON, 1993; KORAN; KURSCHNER, 1998; MEHL; HICKEL; KUNZELAMN, 1997; SAKAGUCHI; BERGE, 1998; WATTS; Al HINDI, 1999). Atualmente a explicação mais aceita para tal fato envolve o conceito de ponto gel, aqui colocado como o momento durante a polimerização quando o compósito deixa de apresentar a forma de uma pasta viscosa e passa para um estado de sólido viscoelástico rígido (LIM et al, 2002). Assim, com a diminuição da velocidade da reação causada por irradiações de baixa intensidade inicial de luz

(DAVIDSON; FEILZER, 1997) haveria um prolongamento da fase pré-gel com possibilidade de rearranjo das cadeias poliméricas para liberações das tensões internas (DAVIDSON; De GEE, 1984; FEILZER; De GEE; DAVIDSON, 1990) enquanto o material não alcança um alto módulo de elasticidade. Nessa fase haveria a possibilidade de deformação ou escoamento do material, o que preveniria a transmissão das forças internas para a interface adesiva ou ao elemento dental. Paralelamente a isso, fotoativações com baixas doses iniciais de luz favoreceriam a formação de longas cadeias de polímeros e baixo número de ligações cruzadas (KLOOSTERBOER; LIJTEN, 1990), estas associadas ao aumento do módulo de elasticidade do compósito (EMANI; SÖDERHOLM; BERGLUND, 2003). Portanto, as técnicas de fotoativação em dois passos poderiam diminuir o estresse da contração de polimerização por promoverem em sua primeira etapa grau de conversão relativamente alto (próximo a 50% do total) com baixa rigidez.

Para permitir medidas menores de tensão de contração, as técnicas em dois passos deveriam apresentar em sua primeira etapa uma intensidade que não ultrapassasse certa medida máxima de luz. Em seu trabalho, Lim et al. (2002) encontraram reduções de 26,5%, 15% e 0% respectivamente para o uso de intensidades iniciais de 60, 100 e 150mW/cm<sup>2</sup>. Enquanto a tensão de contração medida nas amostras irradiadas em etapa única já era de aproximadamente 90% da total encontrada após 2 minutos de irradiação, as técnicas em dois passos demonstraram uma redução de aproximadamente 25% para o mesmo período. Além disso, com a primeira etapa de irradiação o grau de conversão alcançado era de 50% do total. Como sugestão, o estudo

coloca a intensidade máxima inicial de  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  durante 5 a 7 segundos. Os autores afirmam ainda que os métodos “soft-start” não alterariam os valores máximos de contração do compósito, apenas modificariam o momento para seu desenvolvimento.

No presente estudo, apenas o grupo 9 foi irradiado com intensidade inicial próxima aos  $100\text{mW}/\text{cm}^2$ . Pelo distanciamento da ponta do fotopolimerizador, a intensidade de luz recebida foi de  $130\text{mW}/\text{cm}^2$ , ligeiramente maior do que a sugerida como limite pelo estudo supracitado para as técnicas em dois passos. O tempo de irradiação foi também maior, de 20 segundos. Embora com a existência de leve discordância, essa comparação explica a falta de diferenças estatisticamente significativas entre os escores de microinfiltração para a técnica em dois passos e a contínua com  $400\text{mW}/\text{cm}^2$  nos outros distanciamentos da fonte de luz. Com a distância de 3mm, por exemplo, a intensidade inicial de luz recebida com a programação de  $200\text{mW}/\text{cm}^2$  do aparelho fotopolimerizador foi de  $170\text{mW}/\text{cm}^2$ , provavelmente muito alta para permitir atraso suficiente do ponto gel.

A intensidade máxima permitida para a primeira etapa da fotoativação em dois passos ainda permanece contraditória na literatura. Em seu estudo, Silikas, Eliades e Watts (2000) encontraram reduções para a tensão de contração quando do uso de intensidade inicial de  $200\text{mW}/\text{cm}^2$ , se comparada com a apresentada pelos grupos irradiados com  $750\text{mW}/\text{cm}^2$ . Embora com diminuição numérica notável, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Já no trabalho realizado por Kanca <sup>3<sup>rd</sup></sup> (1999), o autor utilizou  $290\text{mW}/\text{cm}^2$  por 2 segundos para a primeira fase da fotoativação, conseguindo

reduções significativas na tensão de contração. É importante notar que embora a intensidade usada tenha sido relativamente alta, o curto tempo de aplicação da luz resultou em uma densidade baixa de energia. Além disso, houve o fator diferencial de espera entre as etapas de irradiação (5 minutos de pausa), o que pode ter contribuído também para a redução do estresse da contração.

O teste de correlação aplicado para avaliar a relação existente entre grau de conversão e microinfiltração nos parâmetros estudados mostrou não haver interdependência entre eles. Este resultado demonstra que o ganho em manutenção da interface adesiva encontrado, sobretudo, quando do uso da técnica "soft-start", ocorreu sem que houvesse prejuízo do grau de polimerização do compósito. Essa mesma conclusão foi obtida por Sakaguchi e Berge (1998), quando os autores encontraram valores similares para o grau de conversão com regimes de fotoativação em uma ou duas etapas. Entretanto, houve uma redução de 21,8% na tensão de contração para a técnica que utilizou em sua fase inicial uma baixa intensidade de energia.

Portanto, o presente estudo constatou a viabilidade da técnica de fotoativação em dois passos para a diminuição dos efeitos deletérios da contração de polimerização sobre a interface adesiva. Além disso, tal forma de fotoativação mostrou-se satisfatória em relação ao grau de conversão alcançado. Resta ainda saber se o comportamento observado durante este estudo para a variação dos fatores modo de aplicação da luz e distanciamento da fonte luminosa apresentam-se compatíveis com as exigências mecânicas normalmente impostas ao elemento dental. Testes complementares ajudariam

a elucidar a interdependência de tais fatores e qual o melhor modo de mantê-los em equilíbrio.

## 7 CONCLUSÕES

Tendo-se em vista os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O modo de fotoativação não interferiu no grau de conversão, mas sim na microinfiltração do compósito, sendo que a irradiação em duas etapas de intensidade apresentou menores escores;
- Com o aumento da distância da fonte de luz à superfície do compósito houve uma diminuição do grau de conversão, sendo tal fato presente apenas na irradiação de  $600\text{mW/cm}^2 \times 40\text{s}$ . A distância da fonte de luz também influenciou a microinfiltração para a irradiação de  $600\text{mW/cm}^2 \times 40\text{s}$ , comparando-se a distância de 0mm com 3 e 7mm, bem como para a irradiação  $200\text{mW/cm}^2 \times 20\text{s} + 500\text{mW/cm}^2 \times 40\text{s}$  comparando-se as distâncias de 0 e 3mm com 7mm.
- O grau de conversão e a microinfiltração não foram afetados diretamente pela densidade de energia, mas sim pela intensidade inicial da fonte de luz.

## REFERÊNCIAS<sup>1</sup>

Abate PF, Zahra VN, Macchi RL. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. *J Prosthet Dent* 2001;86(6):632-5.

Amaral CM, Peris AR, Ambrosano GM, Pimenta LA. Microleakage and gap formation of resin composite restorations polymerized with different techniques. *Am J Dent* 2004;17(3):156-60.

Anusavice KJ. *Materiais dentários*. 10<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1998.

Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 1982;90(6):490-6.

Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ Jr. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc* 1994;125(6):687-701.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA. Effect of ramped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent* 2000;12(6):328-39.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Boyer DB. Effect of stepped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent* 2000;12(1):23-32.

Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res* 2002;81(2):114-8.

Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34(6):849-53.

---

<sup>1</sup> De acordo com o Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.



Calheiros FC, Braga RR, Kawano Y, Ballester RY. Relationship between contraction stress and degree of conversion in restorative composites. *Dent Mater* 2004;20(10):939-46.

Choi KK, Condon JR, Ferracane JL. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 2000;79:812-7.

Chung KH. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res* 1990;69(3):852-6.

Cunha LG, Sinhoreti MAC, Consani S, Sobrinho LC. Effect of different photoactivation methods on the polymerization depth of a light-activated composite. *Oper Dent* 2003;28(2):155-9.

Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 1984;63(2):146-8.

Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res* 1984;63:1396-9.

Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restorations. *J Dent* 1997;25:435-40.

Davidson-Kaban S, Davidson CL, Feilzer AJ, de Gee AJ, Erdilek N. The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites *Dent Mater* 1997;13:344-52.

Eliades G, Vougiouklakis G, Palaghias G. Degree of double bond conversion in light-cured composites. *Dent Mater* 1987;3:19-25.

Emani N, Söderholm KJ. How irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci* 2003;111(6):536-42.

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

Emani N, Söderholm KJ. Influence of light-curing procedures and photo-initiator/co-initiator composition on the degree of conversion of light-curing resins. *J Mater Sci Mater Med* 2005;16(1):47-52.

Ensaiff H, O'Doherty DM, Jacobsen PH. The influence of the restoration-tooth interface in light cured composite restorations: a finite element analysis. *Biomaterials* 2001;22(23):3097-103.

Feilzer AJ, Dauvillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res* 2003;82(10):824-8.

Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 1990;6:167-71.

Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987;66:1636-9.

Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite for two different curing modes. *Dent Mater* 1993;9:2-5.

Feilzer AJ, Dooren LH, de 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.

Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1985;1:11-4.

Ferracane J, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res* 1986;20:121-31.

Ferracane J, Greener EH. Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resin-methods comparison. *J Dent Res* 1984;63:1093.

Hackman ST, Pohjola RM, Rueggberg FA. Depths of cure and effect of shade using pulse-delay and continuous exposure photo-curing techniques. *Oper Dent* 2002;27(6):593-9.

Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater* 2002;18:463-9.

Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand* 1997;55:162-6.

Inoue K, Hayashi I. Residual monomer (Bis-GMA) of composite resins. *J Oral Rehabil* 1982;9:493-7.

Jancar J, Wang W, DiBenedetto AT. On the heterogeneous structure of thermally cured Bis-GMA/TEGDMA resins. *J Mater Sci Mater Med* 2000;11(11):675-82.

Kalachandra S, Turner DT. Water sorption of polymethacrylate networks: bis-GMA/TEGDM copolymers. *J Biomed Mater Res* 1987;21(3):329-38.

Kanca 3<sup>d</sup> J. Clinical experience with PYRAMID stratified aggregate restorative and the VIP unit. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 1999;(25):S67-72.

Kanca 3<sup>d</sup> J, Suh BI. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent* 1999;12(3):107-12.

Kemp Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 1990;69:1240-3.

Kloosterboer JG, Lijten GFCM. Photopolymers exhibiting a large difference between glass transition and curing temperatures. *Polymer* 1990;31:95-1001.

Koran P, Kurshner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. *Am J Dent* 1998;11:17-22.

Leloup G, Holvoet PE, Bebelman S, Devaux J. Raman scattering determination of the depth of cure of light-activated composites: influence of different clinically relevant parameters. *J Oral Rehabil* 2002;29(6):510-5.

Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, Condon JR. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. *Dent Mater* 2002;18:436-44.

Lovell LG, Newman SM, Bowman CN. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res* 1999;78(8):1469-76.

Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 1986;17(12):777-84.

Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH. Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without "softstart-polymerization". *J Dent* 1997;25(3-4):321-30.

Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc* 2003;134(10):1382-90.

Miyasaki M, Oshida Y, Moore BK, Onose H. Effect of light exposure on fracture toughness and flexural strength of light-cured composites. *Dent Mater* 1996;12(6):328-32.

Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater J* 1994;13:198-205.

Obici AC, Sinhoreti MA, de Goes MF, Consani S, Sobrinho LC. Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. *Oper Dent* 2002;27(2):192-8.

Pearson GJ, Hegarty SM. Cusp movement in molar teeth using dentine adhesives and composite filling materials. *Biomaterials* 1987;8(6):473-6.

Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 2000;16(5):330-6.

Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, Leloup G. The micro-Raman spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. *J Biomed Mater Res* 1999;48(5):675-81.

Pires JA, Cvitko E, Denehy G, Swift Jr EJ. Effects of curing tip distance in light intensity and composite resin hardness. *Quintessence International* 1993;24(7):517-21.

Rueggeberg FA, Jordan DM. Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 1993;6(4):364-70.

Rueggeberg FA, Caughman WF, Chan DC. Novel approach to measure composite conversion kinetics during exposure with stepped or continuous light-curing. *J Esthet Dent* 1999;11 (4):197-205.

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

Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davies HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent* 1993;6(2):91-5.

Ruyter IE, Oysaed H. Analysis and characterization of dental polymers. *Critical Rev Biocompat* 1988;4:247-79.

Ruyter IE, Oysaed H. Composites for use in posterior teeth: composition and conversion. *J Biomed Mater Res* 1987;21(1):11-23.

Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 1982;40(3):179-92.

Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MC. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992;20:183-8.

Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent* 1998;26(8):695-700.

Santos MJ, Souza Júnior MH, Mondelli RF. Novos conceitos relacionados à fotopolimerização das resinas compostas. *JBD* 2002;1(1):14-21.

Shin WS, Li XF, Schwartz B, Wunder SL, Baran GR. Determination of the degree of cure of dental resins using Raman and FT-Raman spectroscopy. *Dent Mater* 1993;9(5):317-24.

Siderou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2002;8:1819-29.

Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000;16(4):292-6.

Suh BI, Feng L, Wang Y, Cripe C, Cincione F, de Rjik W. The effect of the pulse-delay cure technique on residual strain in composites. *Compend Contin Educ Dent* 1999;20(2):S4-S14.

Swartz ML, Phillips RH, Rhodes BF. Visible light activated resins – depth of cure. *J Am Dent Assoc* 1983;106:634.

Trujillo M, Newman SM, Stansbury JW. Use of near-IR to monitor the influence of external heating on dental composite photopolymerization. *Dent Mater* 2004;20(8):766-77.

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

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

Vandewalle KS, Ferracane JL, Hilton TJ, Erickson RL, Sakaguchi RL. Effect of energy density on properties and marginal integrity of posterior resin composite restorations. *Dent Mater* 2004;20(1):96-106.

Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do dental composites always shrink toward the light? J Dent Res 1998;77(6):1435-45.

Versluis A, Douglas WH, Cross M, Sakaguchi RL. Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses? J Dent Res 1996;75(3):871-8.

Watts DC, al Hindi AA. Intrinsic 'soft start' polymerization shrinkage-kinetics in an acrylate-based resin-composite. Dent Mater 1999;10:17-22.

Watts DC, Cash AJ. Determination of polymerization shrinkage kinetics in visible-light-cured materials: methods development. Dent Mater 1991;7(4):281-7.

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

Yap AU. Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. Oper Dent 2000;25:113-20.

Yap AU, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. Oper Dent 2001;26(5):460-6.

Yap AU, Ng SC, Siow KS. Soft-start polymerization: influence on effectiveness of cure and post-gel shrinkage. Oper Dent 2001;26(3):260-6.

Yoon TH, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. J Oral Rehabil 2002;29:1165-73.

## APÊNDICE

Tabela A – Dados obtidos através da análise do grau de conversão das amostras

Intensidade de Irradiação (mW/cm <sup>2</sup> )	Distância da Fonte (mm)	Face irradiada			Face não irradiada		
		Repetições			Repetições		
600	0	63,2	61,8	60,4	56,2	63,9	59,0
	3	61,8	57,7	55,6	59,0	56,9	59,0
	7	56,2	55,6	55,6	56,9	54,9	55,6
400	0	58,3	60,4	60,4	59,7	57,7	58,3
	3	62,5	56,9	63,9	51,4	58,3	54,9
	7	59,0	54,9	58,3	57,7	55,6	55,6
200+500	0	57,7	56,5	57,0	59,2	55,3	59,4
	3	58,9	61,2	61,3	61,2	58,4	56,2
	7	55,6	61,1	52,7	61,3	58,7	58,1

Tabela B – Análise de Variância dos valores de grau de conversão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrados Médios	(F)	Probabilidade (%)
Entre modos de ativação	1,3125	2	0,6563	0,16	14,4256
Entre distâncias	51,3681	2	25,6840	6,16	0,9179
Interação modo de ativação X distância	51,4444	4	12,8611	3,09	4,1905
Resíduo I	75,0000	18	4,1667		
Entre faces	35,0856	1	35,0856	5,13	3,4235
Interação face X modo de ativação	10,5394	2	5,2697	0,77	48,1266
Int.	8,9977	2	4,4988	0,6	46,5823



faceXdistância Interação tripla	33,0856	4	8,2714	6 1,2 1	34,1189
Resíduo II	123,1198	18	6,8400		
Varição Total	389,9531	53			

Tabela C – Médias do grau de conversão (desvio-padrão entre parênteses), em função dos diversos modos de aplicação da luz (valores com o mesmo sobrescrito não diferem estatisticamente,  $p>0,05$ )

<b>Modo de aplicação da luz (mW/cm<sup>2</sup> X s)</b>	<b>Grau de Conversão (%)</b>
600 X 40	58,29 (2,87) <sup>a</sup>
400 X 60	57,99 (2,94) <sup>a</sup>
200 X 20 + 500 X 40	58,32 (2,46) <sup>a</sup>

Tabela D - Médias do grau de conversão (desvio-padrão entre parênteses), em função das distâncias entre a fonte de luz e a superfície do compósito (valores com o mesmo sobrescrito não diferem estatisticamente,  $p>0,05$ )

<b>Distância da fonte (mm)</b>	<b>Grau de Conversão (%)</b>
0	59,13 (2,32) <sup>a</sup>
3	58,61 (3,08) <sup>ab</sup>
7	56,85 (2,24) <sup>b</sup>

Tabela E - Médias do grau de conversão (desvio-padrão entre parênteses) para as faces irradiadas e não-irradiadas (valores com o mesmo sobrescrito não diferem estatisticamente,  $p>0,05$ )

<b>Face analisada</b>	<b>Grau de Conversão (%)</b>
Irradiadas	59,01 (2,56) <sup>a</sup>
Não-irradiadas	57,40 (2,67) <sup>b</sup>

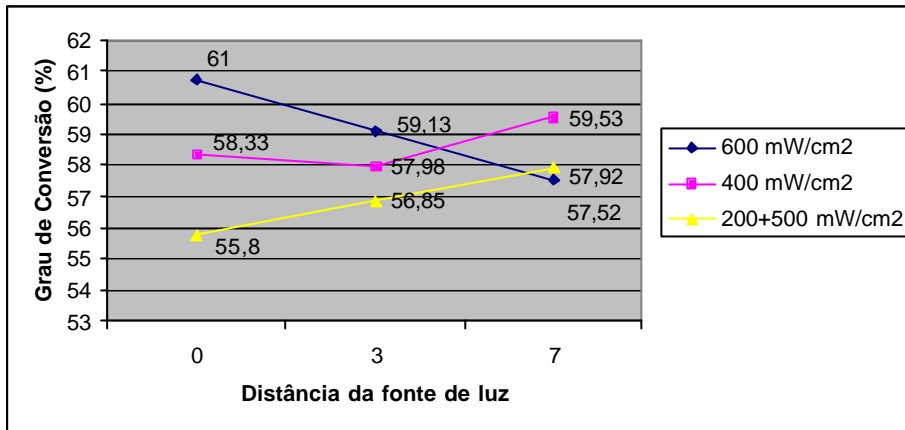


Figura A – Gráfico com os valores de grau de conversão para a interação modo de irradiação e distância da fonte de luz (em mm)

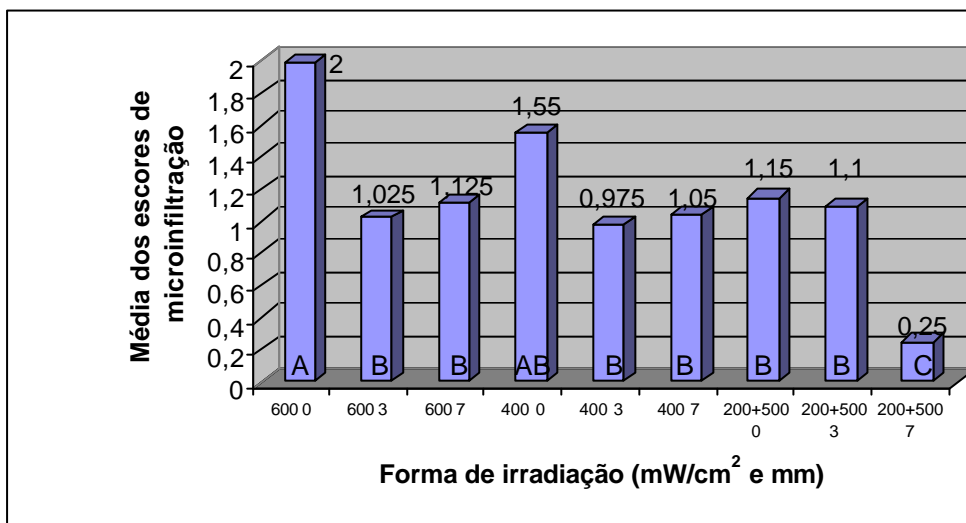


Figura B – Gráfico das médias dos escores de microinfiltração para os nove grupos experimentais

Tabela F – Médias dos escores de microinfiltração para as nove condições experimentais (valores com o mesmo sobrescrito não diferem estatisticamente,  $p > 0,05$ )

Intensidade de irradiação (mW/cm²)	Distância fonte-compósito (mm)	Médias dos escores de microinfiltração
600	0	2 (0,96) <sup>a</sup>
	3	1,025 (0,71) <sup>b</sup>
	7	1,125 (0,92) <sup>b</sup>

400	0	1,55 (1,10) <sup>ab</sup>
	3	0,975 (0,80) <sup>b</sup>
	7	1,05 (0,74) <sup>b</sup>
200+500	0	1,15 (0,95) <sup>b</sup>
	3	1,1 (1,0) <sup>b</sup>
	7	0,25 (0,17) <sup>c</sup>

Tabela G – Teste de correlação de Spearman para grau de conversão X microinfiltração

<b>Teste de Spearman</b>	<b>Valores calculados</b>
Valor de r	0,3167
Graus de liberdade	7
Probabilidade de H0	41,0%
<b>Não há correlação entre as variáveis testadas</b>	