**AVALIAÇÃO DA CONTRAÇÃO DE
POLIMERIZAÇÃO E DAS TENSÕES
PROMOVIDAS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES
SISTEMAS DE POLIMERIZAÇÃO E DE
MATERIAIS RESTAURADORES ESTÉTICOS**

LAWRENCE GONZAGA LOPES

**Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Bauru, da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Odontologia,
na área de Dentística.**

(Edição revisada)

**Bauru
2003**

AVALIAÇÃO DA CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DAS TENSÕES PROMOVIDAS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE POLIMERIZAÇÃO E DE MATERIAIS RESTAURADORES ESTÉTICOS

LAWRENCE GONZAGA LOPES

**Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Bauru, da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Odontologia,
na área de Dentística.**

Orientador:

**Prof. Dr. Eduardo Batista Franco
(Edição revisada)**

**Bauru
2003**

Lopes, Lawrence Gonzaga

L881a Avaliação da contração de polimerização e das tensões promovidas em função de diferentes sistemas de polimerização e de materiais restauradores estéticos / Lawrence Gonzaga Lopes. – Bauru, 2003.

134p;il.; 30cm.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. USP.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Batista Franco.

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

Assinatura do autor:

Data:

Dados Curriculares

LAWRENCE GONZAGA LOPES

16 de outubro de 1975
Goiânia – GO

Nascimento

1992 – 1996

Curso de Odontologia – Faculdade de Odontologia de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

1997

Curso de Especialização em Dentística pela Faculdade de Odontologia de Uberlândia, UFU.

08 / 97 – 08 / 98

Professor Substituto da Disciplina de Dentística da Faculdade de Odontologia de Uberlândia, UFU.

1999 – 2000

Curso de Pós-graduação em Dentística, nível de Mestrado, na Faculdade de Odontologia de Bauru, USP.

2001- 2003

Curso de Pós-graduação em Dentística, nível de Doutorado, na Faculdade de Odontologia de Bauru, USP.

2003

Professor da Disciplina de Dentística e Clínica Integrada da Universidade Católica de Brasília

Associações

GBPD – Grupo Brasileiro de Professores de Dentística.
SBPqO – Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica.
IADR – International Association for Dental Research

Dedicatória

DEDICATÓRIA

A DEUS,

por sempre me abençoar e à minha família; por conceder-me força e coragem e por permitir que eu viva com grande felicidade na companhia de meus familiares e de meus amigos.

AOS MEUS PAIS (LUIZ e SALLET),

por sempre acreditarem em meus objetivos, depositando confiança e incentivo; por me darem amor e dignidade; por serem amigos, perseverantes, companheiros, batalhadores e exemplos de honestidade e humildade. A eles dedico este trabalho, por serem o motivo maior do meu viver e pelo exemplo de vida a ser seguido.

AOS MEUS IRMÃOS (LUIZ FILHO e LUCIANA),

por estarem sempre me apoiando nos momentos difíceis e por confiarem em mim. A eles dedico também este trabalho, como sinal do amor e carinho que nos une.

À Roberta,

Por partilhar, com muito companheirismo, a etapa final deste trabalho, acreditando em minha pessoa; por apoiar e dedicar-me carinho e amor, de forma incondicional, dedico e agradeço de coração.

Agradecimentos Especiais

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao PROFESSOR DR. **EDUARDO BATISTA FRANCO**,

Tenho o orgulho e a felicidade de poder mencionar novamente as palavras de agradecimento que fiz em minha dissertação de mestrado:

“pelo modo com que me acolheu em Bauru, com amizade, sinceridade, humanidade e seriedade; por ter sempre me impulsionado para a realização de atividades que me fizeram crescer cientificamente; pela grande liberdade de diálogo; por ter tido paciência comigo, sempre me recebendo em sua sala com grande solicitude e educação. A sua transparência, honestidade, responsabilidade, humildade, capacidade, cientificismo são características as quais sempre tomarei como exemplos para minha vida profissional e pessoal. Meu respeito e agradecimento pelo professor, pesquisador e pela pessoa especial que é”.

Da mesma forma, gostaria de agradecer os momentos vividos durante o Doutorado; a confiança em mim depositada, especialmente no momento da minha mudança para Brasília, momento em que tive todo apoio e atenção. Agradeço também a liberdade que sempre me concedeu, tanto de opinião, quanto profissional e pessoal. Assim, expresso minha profunda gratidão e eterno respeito.

Quero deixar aqui meu agradecimento à sua esposa e seus filhos, D. Regina, Éric e Eduardo, pelo apoio e modo como me recebem em seu lar.

Ao PROFESSOR DR. **SÉRGIO DE FREITAS PEDROSA**,

Também, com grande respeito, gostaria de mencionar novamente as palavras descritas na dissertação de Mestrado: “pela incondicional amizade; pelo grande apoio durante a minha carreira universitária; por confiar em mim e no meu trabalho, no momento de me apresentar aqui em Bauru; pelos conselhos que sempre me deu, nos momentos de decisão da minha vida profissional. Meu respeito e admiração”.

Fazendo agora parte do corpo docente da Universidade Católica de Brasília, onde o mesmo desempenha o cargo de Diretor, gostaria de agradecer o apoio e as diversas oportunidades abertas para meu crescimento profissional.

Gostaria também de agradecer a seus filhos, Michele, Maria Luíza e André Luiz, pelo modo fraternal com me recebem em seu lar, me tratando como um membro da família.

Agradecimientos

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Católica de Brasília, na pessoa de sua Reitora **Profa. Dra. Débora Pinto Niquini**.
- Aos professores da disciplina de Dentística, da Universidade Católica de Brasília, **Ana Maria Costa; Júlio César Franco Almeida e Sérgio de Freitas Pedrosa**; pelo grande companheirismo e amizade que sempre me proporcionaram. E a todos os docentes do curso de Odontologia dessa Universidade.
- À Profa. **Maria Moraes** pela forma contagiante de convívio e pelo carinho a mim dispensado. Agradeço também a disposição para leitura deste trabalho.
- À secretária da disciplina de Dentística da Faculdade de Odontologia de Uberlândia, **Josiane**, pela amizade e apoio que sempre me propocionou.
- Ao professor Doutor **Alfredo Júlio Fernandes**, pelo permanente incentivo, atenção e cordialidade.
- À **Faculdade de Odontologia de Bauru (USP)**, pelas condições oferecidas para execução deste trabalho, na pessoa de sua Diretora **Profa. Dra. Maria Fidela de Lima Navarro**.
- Ao Presidente da Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Bauru, **Prof. Dr. José Carlos Pereira**.
- Aos professores da área de Dentística, **Doutores Aquira Ishikiriama; Carlos Eduardo Francischone; Eduardo Batista Franco; José Carlos Pereira; José Mondelli; Maria Fidela de Lima Navarro; Maria Teresa Atta A. Bastos; Mário Honorato S. Souza Júnior; Rafael F. Lia Mondelli; e Ricardo Marins Carvalho**, os quais são exemplos, para mim, de verdadeiros mestres e pesquisadores, pela capacidade, dedicação, cientificismo e dignidade. Agradeço a oportunidade de estar aprendendo o verdadeiro papel de um Educador e Pesquisador.
- À professora **Fidela**, a quem sempre vou admirar e respeitar, pela sua dedicação ao ensino; pelo entusiasmo que tem com o trabalho e com o Brasil; pela ajuda incondicional às pessoas, no sentido de vê-las crescendo profissionalmente e,

principalmente, pela sua capacidade e simplicidade. Agradeço o grande apoio que me deu durante o Mestrado e Doutorado; pelas oportunidades de realização de trabalhos e viagens para o exterior, que, sem sombra de dúvidas, me fizeram crescer cientificamente e por confiar em mim. Sempre referencio seu nome em exemplos de pessoas com o mais alto reconhecimento (competência), nacional e internacional, e ao mesmo tempo com grande simplicidade.

- Ao professor **Rafael Mondelli e sua esposa Maria Fernanda (e agora ao Giovanni e à Rafaella)**, gostaria de exteriorizar minha gratidão, pela cordialidade, atenção e oportunidade de conviver momentos alegres e descontraídos com sua família, abrindo as portas de sua casa e me recebendo com muita amizade. Meu sincero agradecimento e admiração. Da mesma forma, gostaria de agradecer o apoio que me proporcionou na minha carreira profissional.
- Ao professor **Pereira**, pelo modo cordial e acolhedor com que me recebeu em Bauru; pelos valiosos ensinamentos na clínica e também na realização de desenhos gráficos e pela maneira, sempre educada e atenciosa, com que me recebia em sua sala. Gostaria de evidenciar, também, minha admiração à sua seriedade no trabalho; capacidade científica e profissional. Da mesma forma, agradecer o apoio dado na etapa experimental deste trabalho, cedendo sua sala, computador e microscópio.
- Ao professor **Ricardo Carvalho**, pelo empréstimo do aparelho fotopolimerizador (VIP), para realização dos testes pilotos. Meu agradecimento
- Aos professores da área de Materiais dentários da FOB-USP, em especial ao professor **Paulo Amarante e Paulo Francischone**, por sempre me tratarem com muita atenção. Meu muito obrigado.
- Às secretárias da área de Dentística **Elisabeth, Eloísa, Ângela e Rita**, pelo carinho e pela maneira educada, sincera e atenciosa com que me receberam em Bauru e que me trataram durante o curso de Mestrado e Doutorado.
- Ao **Nelson, Sr. Dito, Júnior, Karen, Zuleica, Dona Rosinha, Zilei (Dentística), e Sandrinha, Lorisvalda e Alcides (Materiais Dentários)** pela grande alegria, presteza e carinho com que sempre me receberam.
- Em especial à **“Karenzinha”**, pela forma carinhosa que sempre me tratou. E ao **Sr. Nelson**, pela amizade e ajuda na fase experimental deste trabalho.

- Aos **funcionários** do Serviço de Biblioteca da FOB-USP, pela paciência, simpatia, orientações e ensinamentos.
- Ao professor **José Roberto Pereira Lauris**, pela dedicação, eficiência e orientação na realização da análise estatística e interpretação dos resultados deste trabalho.
- Ao professor **José Rubo**, pela atenção, pela maneira educada com que sempre me tratou e pelo auxílio e permissão para o uso da aparelhagem do *strain gauge*.
- Aos funcionários da Pós-Graduação **Giane, Aurélio, Ana e Cleusa**, pela presteza com que sempre me atenderam.
- Ao **Edimauro**, pela essencial ajuda na realização de parte deste trabalho,
- Ao **Rivanildo**, pelo apoio prestado no uso das dependências do laboratório de pesquisa.
- Aos meus grandes amigos, que formaram república comigo durante a graduação, **Raphael e Ricardo**, os quais representam dois irmãos para mim.
- Aos meus grandes amigos da graduação **José Guilherme, Ricardo de Pádua, Ricardo (Magrão), Jamila, Gustavo, Val, Marcão, Tatiana, Silvânia e Flávio**, pela amizade e apoio durante todo o período de formação.
- Aos meus cunhados **Richard, Marcela, Marcela Couto e Brummel Couto**, pela ajuda e apoio.
- Ao **Sr. Brummel e D. Mariângela**, pela maneira carinhosa com que me receberam em seu lar.
- À **Simone Tavares**, pela correção do Abstract.
- Ao meu grande amigo **Júlio**, que também considero um irmão, pela grande ajuda e companheirismo. Meu grande agradecimento e admiração. E, cada vez mais vejo o quão é sua generosidade e companheirismo.
- Aos meus grandes amigos, **Ricardo Lourenço e Rogério**.
- Aos meus colegas de Doutorado em Dentística **Celiane, Cláudia, Daniela, Fábio, Fernada, Juan, Linda e Paulo (Rosa, Luíza e Daniela do curso de Materiais Dentários)** e aos meus colegas do Mestrado **Anaruda, Bruno, Diego, Eduardo, Flávia, Leonardo, Luis, Nádia, Natália, Terezinha**, pela amizade, ajuda mútua e companheirismo, que tornaram nossa convivência um aprendizado, em termos de relacionamento. Em especial, gostaria de expressar

meus agradecimentos à **Linda, Daniela, Juan e Fernandinha**, pela ajuda e convívio.

- Aos meus orientados do programa de iniciação científica, **Abrão e Francylle**, pela especial ajuda na execução de trabalhos científicos.
- Ao professor **João Batista de Sousa**, pela ajuda, amizade, incentivo que me proporcionou e pela leitura deste trabalho.
- Aos amigos que fiz em Bauru: **Luciana Reis, Barnabé, Tatiana, Ângela, Simone, Fátima, Adriana, Paula, Aline, Juliana, Jacinta, Gildo, Sérgio Santiago, Ana, Lúcia, Ranulfo, Dona Vera, Mayta, Ana Paula, Heraldo, Adriano, Anuar, Wagner, Nelsinho, Juliano, Carmem, Tatiana, Adriana, Karina Marchini, Thaís Marchini**.
- Em especial, aos grandes amigos conterrâneos **Barnabé e Tatiana, Bruno e Juliana**, por compartilharem momentos singulares, durante minha estada em Bauru.
- Aos **Gustavos**, que dividem comigo um apartamento em Brasília, agradeço a amizade.
- Aos meus parentes, em especial ao meu **tio Elso e tia Fátima**, os quais sempre me incentivaram e estiveram próximos da trajetória da minha vida.
- À **CAPES**, pelo apoio financeiro durante a realização deste Curso de Doutorado.
- À equipe de pesquisadores da Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, em nome do **Prof. Dr. Vanderley Bangnato**.
- Ao **Márcio**, aluno da Engenharia Mecânica (Unesp-Bauru), pela essencial ajuda no desenvolvimento da metodologia relacionada ao *strain gauge*. Sem sua solicitude e prontidão, talvez este trabalho não seria realizado com eficiência e eficácia.
- À **Profa. Dra. Sônia**, do curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Uberlândia, pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia de fotoelasticidade.
- A todos os meus parentes e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram e participaram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
3 PROPOSIÇÃO.....	66
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	68
5 RESULTADOS.....	85
6 DISCUSSÃO.....	96
7 CONCLUSÕES.....	119
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
ABSTRACT.....	133

Resumo

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a contração de polimerização e as tensões promovidas, no sentido de comparar o sistema de fotopolimerização por LED (130 mW/cm^2) com o sistema halógeno na forma convencional (60 s – 600 mW/cm^2) e pulso de fotopolimerização (3s – 200 mW/cm^2 / 3 minutos / 59 s – 600 mW/cm^2). Da mesma forma, categorias distintas de resinas foram comparadas, como: resina híbrida (Z100 - 3M); resina de micropartículas (A110 – 3M); resina “condensável” (SureFil – Dentsply); e resina composta de ativação química (Bisfil II – Bisco). Para medir a contração de polimerização foram confeccionados cinco espécimes para cada condição experimental, obtidos pela inserção da resina em um anel de silicone com um diâmetro interno de 5mm e altura de 2mm. Um extensômetro elétrico (*strain gauge*), localizado abaixo da resina, registrou a deformação do material em função da contração de polimerização. Nessa mesma proposição, as tensões decorrentes da contração de polimerização foram medidas pelo método de fotoelasticidade. Para isto, foram confeccionados modelos com material transparente, contendo uma cavidade tipo Classe I, com 5mm de comprimento X 2mm de profundidade X 3mm de largura. Foram realizados sete corpos-de-prova para cada condição experimental. Após a inserção e polimerização da resina, secções com 2mm de espessura foram obtidas e avaliadas sob microscópio de luz polarizada, a fim de se verificar as franjas isocromáticas, que representavam as tensões formadas. Os dados referentes à contração de polimerização foram submetidos ao teste paramétrico de análise de variância a dois critérios (ANOVA) e, a um critério para os referentes ao teste de fotoelasticidade, seguido pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Assim, foi observado que o sistema químico de ativação (Bisfil 2B) produziu os menores valores de contração de polimerização e de tensões; de forma geral, a técnica pulso interrompido reduziu os valores de contração de polimerização das resinas compostas e de tensões geradas, quando comparado com às técnicas convencionais (LED e Luz Halógena); a fonte de luz à base de LEDs produziu menores valores de contração de polimerização do que a fonte halógena, quando aplicados convencionalmente. Entretanto, o LED

proporcionou a mesma quantidade de tensões de contração de polimerização, quando comparado à fonte de luz halógena (técnica convencional); de maneira geral e independente do meio de fotoativação, a resina SureFil produziu os menores valores de contração de polimerização e de tensões geradas, dentre as fotoativadas. Por outro lado, as resinas Z100 e A110 geraram maiores valores de contração e de tensões.

Introdução

1. Introdução

Um importante enfoque dos pesquisadores da área da Odontologia Restauradora é o estudo do mecanismo da contração de polimerização das resinas compostas. A contração destes compósitos é de natureza molecular e conseqüente da aproximação dos monômeros na formação da cadeia polimérica (BOUSCHLICHER⁹, 2001; LÖSCHE⁷³, 1999; VENHOVEN, et al.¹¹¹, 1993). A resina composta, quando inserida em cavidades, estabelece uma competição entre as forças de contração de polimerização e a resistência de união à estrutura dentária (CARVALHO, et al.¹⁷, 1996). Como resultado direto, e na dependência de sua magnitude, pode ocorrer a formação de fendas marginais e subseqüente infiltração marginal, que é um indicativo de insucesso. Contrariamente, se a união dente-restauração é resistente o suficiente para suportar as tensões da contração de polimerização, pode-se verificar também, dependendo de sua intensidade, possíveis fraturas coesivas na estrutura dentária (SUH¹⁰², 1998).

Um ótimo grau de polimerização e mínima contração de polimerização são geralmente objetivos antagônicos (TARLE, et al.¹⁰⁴, 1998), pois quanto maior a conversão de monômeros em polímeros, maior a contração de polimerização e, entretanto, melhores as propriedades mecânicas.

Desta maneira, sistemas fotopolimerizadores com alta densidade de potência são recomendados universalmente. Geralmente, esta recomendação é baseada na profundidade de polimerização e na melhora das propriedades mecânicas do material. O sistema à base de LED (luz emitida por diodo) apesar de apresentar uma baixa densidade de potência, representa uma nova opção, porém com algumas vantagens frente aos aparelhos convencionais (luz

halógena), como: emissão de luz visível próxima ao pico de absorção da canforaquinona (CQ), baixa emissão de calor, possibilidade de serem montados em pequenos aparelhos, pode ser operado por baterias, resistente a choques e vibrações, não apresenta sistema de ventilação e possui uma indefinida longevidade da fonte de luz (BOUSCHILICHER⁹, 2001; DAVIDSON; De GEE³², 2000; KURACHI, et al.⁶⁷, 2001; LEONARD; CHARLTON⁷¹, 2002). Pesquisas, visando avaliar a viabilidade do uso de LED para fotopolimerização de resinas compostas, vêm sendo realizadas e, assim, verifica-se que, quanto à profundidade de polimerização, os resultados são favoráveis e similares aos alcançados com a luz halógena, especialmente se a porção de resina não exceder 2mm (KURACHI, et al.⁶⁷, 2001; NOMURA⁸⁴, 2002; JANDT, et al.⁵⁹, 2000; STAHL, et al.¹⁰¹, 2000). Entretanto, pouco se conhece a respeito da contração de polimerização e as tensões geradas quando da utilização deste novo aparelho.

Quanto à possibilidade negativa da alta densidade de potência no desenvolvimento das tensões de contração, assim como na limitação do relaxamento das mesmas (UNTERBRINK; MUESSNEER¹⁰⁸, 1995; MEHL, et al.⁷⁹, 1997), sabe-se que ação desta, sobre a resina composta, propicia uma rápida reação de polimerização, ou seja, ocorrerá uma passagem de um estado menos viscoso (pré-gel) para um estado rígido (pós-gel), de forma a aumentar, rapidamente, o módulo de elasticidade e reduzir a possibilidade de alívio das tensões de contração (SAKAGUCHI, et al.⁹⁴, 1991; SAKAGUCHI, et al.⁹³, 1992; MEHL, et al.⁷⁹, 1997). Após o desenvolvimento da rigidez da resina (pós-gel) verificar-se-á uma grande redução no escoamento deste polímero, devido à dificuldade de ocorrer um rearranjo das moléculas (DAVIDSON; De

GEE³¹, 1984; UNTERBRINK; MUESSNEER¹⁰⁸, 1995; SAKAGUCHI, et al.⁹⁴, 1991).

Sendo assim, existem diversos métodos de fotopolimerização que visam o escoamento das tensões de contração e redução da contração de polimerização, os quais utilizam aparelhos convencionais de fotopolimerização (luz halógena) com o intuito de reduzir a quantidade de luz inicial, como a associação de baixa e alta energia luminosa (gradual em duas etapas e exponencial) e a forma descontínua (pulso interrompido ou *pulse delay*), a qual a luz é aplicada rapidamente e depois de um tempo no escuro, uma luz com alta potência e longa duração é efetuada. Estes métodos visam aumentar o período pré-gel para que possibilite o alívio das tensões geradas, com vistas a um melhor selamento marginal.

Além disso, diversos materiais têm sido lançados no mercado, com diferentes formulações, como resinas híbridas, de micropartículas, “condensáveis” e cimentos ionoméricos modificados por resina, implicando em diferentes propriedades físicas e mecânicas. A magnitude das tensões provenientes da contração de polimerização e a contração propriamente dita diferem entre os materiais, especialmente pela variação encontrada na concentração de partículas de carga, que conduz a diferentes valores de módulos de elasticidade e de contração linear (ASMUSSEN³, 1975; LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹, 1987; KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON⁶², 1988; KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON⁶¹, 1990). Materiais que apresentam menor rigidez proporcionam maior escoamento das tensões de contração, o que, conseqüentemente, conduz a restaurações com melhores

selamentos marginais (KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON⁶², 1988; DAUVILLIER et al.²⁷, 2000).

Portanto, nota-se que diversos fatores afetam à magnitude da contração de polimerização de materiais resinosos e que as pesquisas no ramo odontológico voltam-se, com bastante enfoque, na busca por materiais e técnicas que propiciem um bom selamento marginal, evitando-se, assim, a microinfiltração marginal.

Nesse sentido, a indução da contração de polimerização e, conseqüentemente, de suas tensões, foi analisada, utilizando metodologia específica, em função da utilização do sistema de fotopolimerização por LED, em comparação com o sistema por luz halógena, envolvendo as técnicas de polimerização convencional e gradual. Da mesma forma, categorias distintas de resinas foram comparadas, como: resina híbrida (Z100 - 3M); resina de micropartículas (A110 - 3M); resina “condensável” ou de alta densidade (SureFil – Dentsply); e resina composta de ativação química (Bisfil II – Bisco).

Justificativa

A Odontologia, apesar de estar em pleno avanço técnico-científico, cada vez mais necessita de pesquisas que avaliem o comportamento e as propriedades dos materiais odontológicos, para que apresente maior confiabilidade em sua utilização.

Sabendo-se que a manutenção do selamento marginal de restaurações com materiais resinosos é dependente de vários fatores e, que, a contração de polimerização, sendo um processo complexo, representa um desses, faz-se importante o estudo desse mecanismo, da sua relação com as tensões

promovidas e das formas de minimizar o seu efeito nas interfaces entre material restaurador e dente.

Partindo do pressuposto de que uma baixa contração apresentada por um compósito necessariamente não significa baixa geração de tensões de contração de polimerização, torna-se indispensável o estudo não só da contração de polimerização, mas também das tensões promovidas na interface adesiva. Tal consideração é fundamentada no fato de que se deve considerar também o módulo de elasticidade do material, pois materiais com alto conteúdo de carga, geralmente, apresentam menor contração, porém são mais rígidos (com maior módulo de elasticidade) e com isso maior será a concentração de tensões (KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON⁶², 1988). Além disso, a cinética de polimerização apresentada por cada material, que é dependente de sua constituição, também deve ser considerada, pois materiais com formas diferentes de ativação para polimerização, como por luz ou química, mostram reações com velocidades distintas. Esta afirmativa é importante no sentido de que resinas quimicamente ativadas apresentam uma reação mais lenta de polimerização do que as fotoativadas, permitindo assim um maior alívio das tensões provenientes da contração de polimerização. Face ao exposto, o desenvolvimento deste estudo envolvendo diferentes tipos de análises (análise da contração e das tensões promovidas) em função de várias categorias de materiais faz-se meritório, especialmente pelo fato de permitir a correlação direta do comportamento intrínseco das diferentes variáveis, que se relacionam com a manutenção do selamento marginal.

A inclusão do LED para realização da polimerização de resinas compostas neste estudo deve-se às vantagens creditadas na literatura

(BOUSCHLICHER⁹, 2001; KURACHI, et al.⁶⁷, 2001). Adicionalmente, por ser uma nova modalidade de fonte de luz, ainda não existem trabalhos que determinam a contração ocorrida e as tensões geradas na polimerização de resinas compostas. Um fato interessante é que estes aparelhos emitem uma baixa densidade de potência, porém dentro de uma faixa estreita de comprimento de onda ideal para absorção da canforaquinona. Deste modo, fica a dúvida sobre a cinética de polimerização para este tipo de aparelho e, assim faz-se importante o estudo desta nova opção de fonte de luz, no sentido de se averiguar e determinar, quanto à contração de polimerização e tensões geradas, as características das resinas quando polimerizadas com este tipo de aparelho.

Face ao discutido, o tema desenvolvido teve o intuito de contribuir diretamente para a avaliação de diferentes tipos de resinas compostas e de recentes modalidades de fotopolimerização, com vistas à contribuição para um melhor entendimento dos fatores envolvidos no selamento das margens de restaurações com resina composta.

Revisão da Literatura

02. Revisão da Literatura

De forma a iniciar as pesquisas envolvendo a fotoelasticidade no estudo da distribuição de tensões, **MAHLER; PEYTON**⁷⁷, em 1955, descreveram alguns aspectos e conceitos importantes sobre este método. Afirmaram que a fotoelasticidade é um método experimental para avaliação das tensões responsáveis por falhas na estrutura. Como procedimento geral é necessário construir um modelo fotoelástico similar às condições em estudo e com um material transparente. A medida das tensões está em função da interferência da onda de luz, funcionando da seguinte maneira: é necessário que o modelo fotoelástico esteja entre o polarizador de luz e o filtro analisador; uma luz monocromática emite ondas de luz em várias direções até o polarizador; este filtro só deixa passar as que estão paralelas ao seu eixo; esses componentes de ondas de luz serão retardados no modelo fotoelástico conforme for o grau de estresse; duas ondas caminham em direção ao filtro analisador, a qual é fisicamente semelhante ao polarizador exceto por seu eixo ser rotacionado em 90 graus. Isso irá gerar franjas, as quais são diretamente proporcionais às tensões existentes no modelo. Os autores, ainda caracterizam outros aspectos e concluíram que este método de análise mostra-se com grande aplicabilidade para estudos envolvendo problemas odontológicos.

Conhecendo as conseqüências da contração de polimerização dos materiais restauradores resinosos, como a formação de fenda entre a parede cavitária e o material restaurador, **ASMUSSEN**³, em 1975, propôs investigar a possível relação entre a composição das resinas compostas e a contração de parede a parede, em cavidades preparadas em dentes humanos com diâmetro e profundidade de 2,5mm. As marcas estudadas continham BIS-GMA diluído com um ou dois monômeros de baixa viscosidade. A contração de polimerização foi medida e determinada microscopicamente pela largura máxima alcançada pela fenda formada em dentina. Após a análise e interpretação dos resultados, o autor observou uma correlação positiva entre largura da fenda marginal e soma de diluentes; e que, a adição de partículas inorgânicas acima de 75% por peso não teve efeito na largura das fendas marginais. Nesse sentido, foi concluído que a composição da fase orgânica é

de importância primordial para o tamanho da contração de parede a parede das resinas compostas.

Sabendo que a contração de polimerização de resinas compostas leva à formação de forças de tração nas estruturas circundantes aderidas e, que essas podem causar fraturas no esmalte, **HEGDAHL; GJERDET**⁵⁶, em 1977, se propuseram a determinar a magnitude da contração linear e das tensões de contração promovidas pelas resinas Adaptic, Concise, Restodent. Para se medir a contração de polimerização foi utilizado uma matriz de polietileno em forma de V associada a um extensômetro elétrico. Esta foi determinada dois minutos após a mistura dos materiais e registradas por um período de duas horas, por meio de uma ponte amplificadora associada a um dispositivo de registro. As tensões de contração foram medidas em uma máquina universal de testes, por meio da fixação dos espécimes de resina na célula de carga e em uma base. Após este período, os resultados obtidos para contração linear e tensões de contração foram, respectivamente: Adaptic- 0,42%; 1,21MPa; Concise- 0,48%; 1,30MPa; Restodent- 0,90%; 1,92MPa. Os autores comentaram que existiu maior desenvolvimento de tensões de tração, quando a contração foi restrita (resina aderida às paredes), assim como seria óbvio pensar que este estresse dependeria da resiliência das estruturas nas quais o material está aderido.

Buscando possibilitar a medida da contração de polimerização de resinas quimicamente ativadas e também das fotopolimerizáveis, **De GEE; DAVIDSON; SMITH**³⁶, em 1981, testaram um dilatômetro modificado no qual ao invés da utilização do mercúrio foi utilizada água. Assim, mediram a contração de polimerização de duas resinas de ativação física (Fotofil e Nuva-fil) e uma de ativação química (Concise). Os dados encontrados foram de 2,03% para a Fotofil, 2,67% para a Nuva-fil e 2,55% para a Concise. Foi verificado que o desenvolvimento da contração para resina química foi mais lento. Os autores discutem que a contração inicial é de pouca importância, pois esta será compensada pelo escoamento viscoso do material. Concluíram que este aparelho modificado satisfaz os objetivos na medida de alterações dimensionais de materiais não metálicos entre a temperatura ambiente e 37°C.

BAUSCH et al.⁷, em 1982, relataram que a contração inicial das resinas compostas não possui grande significância clínica comparada àquela que inicia

a partir do momento da geleificação. Desta maneira, avaliaram a contração de polimerização de algumas resinas compostas por meio da utilização de um dilatômetro. Após o estudo realizado, foi observado que a contração de polimerização é resultante do rearranjo das moléculas dentro de um menor espaço. Explicam, ainda, que se essa contração for impedida pela geometria da cavidade ou pela união à parede cavitária, pouco pode ser dito a respeito dos movimentos internos da resina composta. Mas, se este material possuir bastante flexibilidade, essas tensões serão eliminadas pelo escoamento. A união de uma restauração com a parede cavitária, pelo condicionamento ácido, promoverá mais tensões no material do que em situação oposta, onde o material não se encontra unido ao dente, mas, certamente, conduzirá à formação de uma fenda marginal. Neste aspecto, o auxílio de uma camada intermediária com um material de baixa viscosidade e alta flexibilidade, provavelmente, compensará essas tensões provenientes da contração rígida da resina composta e conseqüentemente prevenirá a infiltração marginal. Frente a estes relatos, concluíram que a contração de polimerização é um dos fatores mais importantes que determinam uma maior vida clínica para as restauração de resinas compostas.

Diante de várias resinas compostas lançadas no mercado e sabendo do fato de que estes materiais contraem-se durante a sua polimerização e, que expandem higroscopicamente, **BOWEN; RAPSON; DICKSON**¹³, em 1982, quantificaram a contração de polimerização e a expansão higroscópica de algumas resinas compostas encontradas no comércio e de três experimentais. Os espécimes foram confeccionados seguindo-se as orientações dos fabricantes, em uma cavidade de forma cônica realizada em um molde. Os espécimes foram retirados do molde, pesados, medidos e colocados em água destilada por um minuto. Em seguida, foram todos secos por 15 segundos, efetuando-se novamente a pesagem e as mensurações para então retornar à água destilada. Estes procedimentos de medidas foram continuados e seguidos por um ano. A contração linear foi medida a partir do estabelecimento de uma fórmula baseada nas dimensões da cavidade. Com os resultados deste experimento, pôde-se verificar que todos os materiais testados contraíram durante o processo de polimerização e que houve um aumento do peso e expansão durante a imersão em água. Entretanto, somente em poucos

materiais, foi possível observar uma compensação da contração em função da expansão higroscópica sofrida pelos materiais. Os autores concluíram que pode-se formular resinas compostas que sofram expansão o suficiente para compensar a contração de polimerização.

Citando os fatores de importância na adaptação marginal de restaurações com resina composta, como a contração de polimerização, sorção de água, viscosidade do material, tempo de polimerização, união entre resina composta e estrutura dentária e a técnica de acabamento e polimento, **GOLDMAN**⁵¹, em 1983, afirmou que a eliminação ou redução da contração de polimerização constitui-se como um fator de suma importância. Assim, por meio de um dilatômetro determinou a contração de polimerização de três categorias de resinas: quimicamente ativada na forma de pó e líquido; pasta-pasta e fotopolimerizável. Os resultados obtidos variaram de 1,67 a 5,68%, sendo que os maiores valores tenderam para os materiais na forma pó e líquido, os intermediários para os de forma pasta-pasta e já para os fotopolimerizáveis, os menores valores de contração foram observados. O autor discutiu que a quantidade de reação monomérica, o tipo e o grau de polimerização foram os principais fatores envolvidos na determinação da magnitude da contração de polimerização. Assim, relatou que o aumento na quantidade de partículas de carga reduz a reação monomérica, reduzindo-se assim a contração de polimerização. Verificou, também, que a adição de diluentes nas resinas com maior concentração de carga inorgânica aumenta a contração de polimerização, pois estes aumentam o grau de conversão. Não foi observado diferenças para mensuração da contração nas duas temperaturas estudadas (25°C e 37°C). Finalizou chamando a importância para uma cuidadosa seleção do material, dando-se preferência para aqueles com baixa contração de polimerização.

Diante do conhecimento do mecanismo de escoamento das tensões oriundas da contração de polimerização, especialmente quando existe uma reação gradual, em que as tensões produzidas não provocam danos nem à estrutura interna da resina nem à união adesiva, **DAVIDSON; De GEE**³¹, em 1984, estudaram o comportamento de duas resinas, Silar e Concise, durante a polimerização. Desta forma, por meio de um dilatômetro, observaram que as resinas contraíram consideravelmente durante a reação e que a contração

rígida poderia ser a grande causa dos defeitos marginais. Relataram em sua discussão que, durante a polimerização, o escoamento das tensões compensou a contração. Verificaram, também, que a contração era máxima nos períodos iniciais da reação de polimerização, porém o material e sua cadeia polimérica ainda seriam pouco resistentes e, portanto, capazes de se deformar e de tomar novas posições e orientações. Após algum tempo, o material ganharia resistência, mas com a contração reduzida. Assim, concluíram que a existência de uma boa união com o esmalte pode resistir às forças de contração de polimerização, especialmente pelo fluxo das tensões e que, na ausência de união à dentina, a formação de uma fenda pode ser esperada. Mas, quando existir uma boa união com este substrato, o material poderá fluir durante a polimerização e a adaptação marginal poderá ser mantida.

Partindo do pressuposto de que a união à dentina pode ser desfeita possibilitando a formação de uma fenda na margem da restauração, **DAVIDSON; DE GEE; FEILZER³³**, em 1984, estudaram a influência das forças produzidas pela contração de polimerização de duas resinas compostas, Silux e Silar, em função do tempo de polimerização e da adesão à dentina. Para o teste de adesão, foi utilizada superfície retangular planas de dentina (2,0 X 3,0mm) de dentes bovinos, as quais foram tratadas com o adesivo Scotchbond. A resina foi injetada em espaço localizado no tensilômetro e unida ao espécime de dentina correspondente, a fim de verificar as forças de contração de polimerização. A resistência de união foi determinada em diferentes tempos após o início da polimerização do material. Em um segundo experimento, 24 cavidades de Classe V foram preparadas em dentes bovinos com assoalho localizado em dentina. Estas foram restauradas com os dois materiais, sendo que, após 48 horas, foram seccionadas em seu eixo central e, em seguida, colocadas em solução de azul de metileno por dez minutos. Desta forma, observaram-se microinfiltração em praticamente todas paredes de dentina, enquanto na margem em esmalte, a penetração de corante foi mínima. Quanto aos dados obtidos pelas forças geradas durante a contração de polimerização em diversos tempos de avaliação e da resistência de união proporcionado pelas duas resinas, encontrou-se uma superioridade dos valores de resistência de união (0 a 7,8 MPa) em relação aos das forças de contração de

polimerização (0 a 2,4 MPa). Os autores discutem neste trabalho que, quando a contração é restrita a uma direção somente, a adesão será formada e pouco afetada, porém, em condições tridimensionais, as tensões serão compensadas em menor escala pelo escoamento. Nestas cavidades de Classe V, relataram que aproximadamente 2/3 do total de superfície do material está em contato com a estrutura dental e que pode desenvolver forças de contração de até 20 MPa. Portanto, em circunstâncias favoráveis, como em superfícies planas ou em cavidades rasas, uma durável união à dentina pode ser formada. Concluíram sobre a necessidade de se desenvolver não somente agentes adesivos com alta resistência de união, mas também resinas com pequena contração e desenhos cavitários que mereçam atenção para obter um selamento marginal estável em cavidades em dentina.

Ainda nesse ano, **HANSEN**⁵⁴ investigou a contração de polimerização de parede à parede de uma resina de micropartículas (Silux), utilizada com ou sem sistema adesivo (Scotchbond) e sua possível relação com a variação do ângulo cavosuperficial. Cavidades foram confeccionadas em dentes extraídos a partir de uma planificação prévia da dentina e com a determinação de quatro ângulos distintos do cavosuperficial, 90°, 110°, 135° e 160°. Após os procedimentos restauradores, as fendas marginais foram medidas em 24 pontos por meio de um microscópio. Relatou, em sua discussão, que quando nenhum sistema adesivo foi utilizado a porcentagem de contração diminuiu com o aumento do diâmetro da cavidade. E as razões dadas a estes resultados são a ligeira adesão da resina às paredes cavitárias e também a grande superfície livre existente, pela a qual o material pode escoar durante o estágio inicial da contração de polimerização antes mesmo da adesão entre a resina e a estrutura dentária ser desfeita. Ainda dentre os resultados encontrados pelo autor, com aumento do ângulo cavosuperficial (90° – 160°) verificou-se uma melhora significativa na adaptação marginal apresentando uma contração de parede à parede abaixo de 0,01%.

Na intenção de abordar os aspectos que relacionam a performance clínica das restaurações em resina composta com as propriedades destes compostos, **ASMUSSEN**², em 1985, teceu globalmente discussões a respeito das propriedades das resinas compostas e sua influência na longevidade clínica de restaurações que utilizam este tipo de composto como material

restaurador. Desta maneira, foi relatado que a infiltração marginal classifica-se como a terceira maior deficiência desta classe de material, implicando em penetração de bactérias, manchamento, cáries secundárias e descoloração marginal. Descreveu, também, sobre o importante papel da expansão higroscópica no fechamento das fendas marginais ocorridas após a contração de polimerização e de sua dependência pelo conteúdo de partículas de carga, no sentido de dizer que, quanto maior sua concentração na resina, menor a magnitude da expansão. Neste aspecto, afirmou que a grande tendência de formar fendas marginais existente nas restaurações que utilizam resina de micropartículas pode ser compensada pela maior expansão higroscópica. De forma a apresentar grande importância na prevenção de formação de fendas marginais, o autor relatou sobre a união entre paredes cavitárias e resina composta oportunizada pelo condicionamento ácido e aplicação de agentes de união. Concluiu afirmando sobre a necessidade de evolução da adesão à dentina para que, em conjunto com o condicionamento ácido do esmalte, haja uma maior prevenção de formação de fendas marginais eliminando-se assim, a necessidade de retenções adicionais.

Envolvidos com o estudo da adaptação de resinas compostas e atentos com à possibilidade de uma relação direta entre forma cavitária e selamento marginal, **HANSEN; ASMUSSEN**⁵⁵, em 1985, realizaram uma análise dos resultados de estudos prévios (HANSEN⁵⁴, 1984) que relacionaram diferentes formas de cavidades com a contração de polimerização. Nesse sentido, avaliaram a adaptação de restaurações de resina composta verificando a relação com algumas variáveis como volume, profundidade da cavidade, área livre e área aderida. Desta forma, os autores realizaram uma análise de regressão linear avaliando estas variáveis, das cavidades anteriormente estudadas que possuíam ângulos cavosuperficiais terminando em 90°, 110°, 135° e 160°. Com os resultados desta análise, pôde-se observar que o volume por si só, possui um papel importante na adaptação marginal de resinas compostas e que, o aumento do raio de paredes unidas resultará em aumento da fenda marginal. Os autores verificaram, também, que o aumento da área de uma cavidade em forma de cone para uma convencional conduziu a uma elevação na formação de fendas marginais (0,4µm – 2,8µm). Desta forma, concluíram que a remoção de estrutura dentária para realização de cavidades

convencionais conduz a um enfraquecimento do dente e a uma pior adaptação marginal.

Com a proposta de iniciar a divulgação da técnica de polimerização das três posições (vestibular, lingual e cervical-cunha), **LUTZ; KREJCI; OLDENBURG**⁷⁶, em 1986, avaliaram a estabilidade da adaptação marginal de restaurações de resina composta. Cavidades MOD foram realizadas e restauradas conforme o grupo destinado. Todos os grupos utilizaram uma resina híbrida associada a um agente de união e fotopolimerizados pela técnica das três posições com auxílio de uma cunha reflexiva. No grupo I não foi utilizado o condicionamento ácido do esmalte e nenhum material de base, porém no grupo II o condicionamento ácido do esmalte foi efetuado. No grupo III todas as variáveis foram aplicadas, inclusive o condicionamento ácido da base ionomérica. Já no grupo IV, as mesmas variáveis propostas no grupo III foram utilizadas, com exceção do condicionamento da base de ionômero de vidro. As superfícies proximais foram avaliadas quantitativamente pela micromorfologia da interface dente/restauração. Diante dos resultados, pôde-se verificar que o grupo IV e III apresentaram os melhores resultados e, que segundo os autores, foi em função da redução do volume final de resina composta e pelo aumento de superfícies livres em relação ao volume. Afirmaram, ainda, que a técnica de polimerização por três posições demonstrou bons resultados quanto à adaptação marginal.

No mesmo ano, **LUTZ, et al.**⁷⁵ pesquisaram sobre o desempenho e aplicabilidade de cunhas reflexivas no processo de polimerização por meio da avaliação da adaptação marginal de restaurações de resina composta (Classe II). Em todos os grupos estabelecidos utilizaram uma resina híbrida associada a um agente de união e fotopolimerizados em dois incrementos, com auxílio de uma cunha reflexiva. No grupo I, não foram utilizados o condicionamento ácido do esmalte e nenhum material de base, porém no grupo II, o condicionamento ácido do esmalte foi efetuado. No grupo III, quase todas as variáveis foram aplicadas, inclusive o condicionamento ácido da base ionomérica, exceto a polimerização pela cunha interproximal. Já no grupo IV, as mesmas variáveis propostas no grupo I foram utilizadas com a adição da polimerização pela cunha reflexiva. O grupo V foi similar ao IV, porém com o condicionamento ácido do esmalte e, o VI apresentou todas as variáveis estudadas. Diante dos

dados obtidos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi verificado que o condicionamento ácido do esmalte teve grande influência na adaptação marginal, seguida da utilização da cunha reflexiva para polimerização junto a parede gengival. Mencionaram que para se alcançar uma boa adaptação marginal com restaurações de resina composta é necessário estar ciente de alguns fatores como: técnica e método de polimerização, técnica de inserção, uso de um material de base e adesão.

Na função de esclarecer uma questão controversa a respeito do uso ou não de um agente de união com baixa viscosidade antes da aplicação do material restaurador, **VAN DIJKEN; PER HÖRSTEDT¹⁰⁹**, em 1987, investigaram, *in vivo*, a adaptação marginal ocasionada pela utilização de uma resina híbrida (Miradapt) e uma de micropartículas (Silar), inseridas com ou sem um agente de união intermediário. A avaliação foi feita ao MEV, a partir de réplicas das margens cavitárias obtidas uma semana e um ano após o término das restaurações. Dentro da metodologia proposta, cavidades Classe III foram realizadas em qualquer um dos seis dentes anteriores superiores ou dos inferiores, em 37 adultos. Cada paciente recebeu duas restaurações com resina híbrida e duas com resina de micropartículas, sendo que uma restauração realizada com a resina híbrida foi combinada com um agente de união de baixa viscosidade (Adaptic Enamel Bond) e uma das restaurações realizada com resina de micropartículas foi associada com outro agente de união (Scotchbond). Fazendo parte dos procedimentos operatórios e restauradores, confeccionou-se, quando possível, bisel nas margens cavitárias e, para todas as restaurações, o isolamento absoluto do campo operatório e colocação de uma base de hidróxido de cálcio antes do condicionamento ácido do esmalte foram executados. A aplicação e inserção do material restaurador seguiram as instruções dos fabricantes. Após o acabamento e polimento das restaurações, realizado uma semana após o término das restaurações, e também após um ano, réplicas com siliconas de impressão foram feitas das restaurações. Desta maneira, toda avaliação foi estabelecida pela obtenção e análise de fotomicrografias. Verificaram que o tamanho e o volume dos defeitos marginais não foram significativos após uma semana entre os materiais restauradores, quando colocados com ou sem agente de união. Entretanto, após um ano, as restaurações com resina híbrida associada a um agente

intermediário de união, mostraram, significativamente, melhores resultados quanto à adaptação do que as restaurações sem resina de baixa viscosidade. Não se verificou diferenças estatisticamente significantes, quando as restaurações foram realizadas com resina de micropartículas associadas ou não com agente de união. No entanto, verificaram-se após uma semana, uma melhor adaptação marginal em restaurações com resina híbrida, quando comparadas às com resina de micropartículas, sendo, entretanto, mais evidente após um ano. Desta maneira, exacerbou-se a importância da utilização de um agente de união associado à inserção de resinas compostas híbridas.

A partir da observação de uma grande variabilidade de opiniões a respeito da satisfação ou não do uso das resinas compostas como material restaurador, **LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE**⁶⁹, em 1987, discutiram sobre as propriedades destes compósitos e suas implicações clínicas. Dentre os vários fatores discutidos, a contração de polimerização recebeu grande atenção pelo fato de afetar diretamente a interface adesiva. Relataram que, embora as resinas híbridas possuam alta quantidade de partículas de carga, sua contração volumétrica apresenta-se alta, porém, isto pode ser explicado pela adição de TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato) para controlar a viscosidade, resultando, assim, em maior contração de polimerização. Descreveram-se também, que, quando a resina composta é inserida em cavidades amplas, a quantidade a ser polimerizada é tão grande que as forças de contração prevalecem sob as forças de união adesiva, produzindo fendas marginais. Este efeito conduz à penetração de bactérias, sensibilidade pós-operatória e desconforto. Já, em cavidades mais rasas, acrescentaram que existirá uma melhor possibilidade de contração livre, permitindo uma redução das tensões e preservando a adesão. Em relação ao coeficiente de expansão térmica das resinas compostas, descreveram que esse pode variar de acordo com a quantidade de carga inorgânica presente. Sendo assim, para algumas resinas de micropartículas que contêm somente 35% de carga, o valor deste coeficiente pode ser tão alto quanto 70×10^{-6} , especialmente quando se compara com o valor de 35×10^{-6} das resinas híbridas e de 10×10^{-6} da estrutura dental. Diante disto, os autores concluíram que os cirurgiões-dentistas

devem estar cientes das limitações destes materiais para que alcancem resultados desejáveis.

Em 1987, **FEILZER; DE GEE; DAVIDSON**⁴⁰ investigaram o papel do fator de configuração cavitária no desenvolvimento e relaxamento das tensões resultantes da contração de polimerização a fim de possibilitar o estabelecimento do sucesso dos adesivos dentinários. Para este estudo, dois discos de aço foram utilizados, dos quais um foi conectado à célula de carga e o outro, ao dispositivo medidor de tensões. As resinas compostas (Silar e P10) foram inseridas entre estes dois discos em forma de um cilindro nas dimensões de suas circunferências, os quais já haviam recebido um tratamento com silano. Neste aparato, conseguiu-se registrar as tensões de contração de restaurações com fator de configuração (C) conhecidos, dados pela razão de superfícies unidas (os discos planos) por superfícies livres (parte externa do cilindro). Nesse sentido, o fator C foi expresso neste estudo pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{\text{Total de superfícies dos discos}}{\text{superfície externa do cilindro}}$$

Na figura a seguir (Figura n.1), os autores demonstraram uma visualização da relação entre formas cavitárias encontradas clinicamente e seus respectivos valores de C.

Figura 1- Relação das cavidades com o fator de configuração. Feilzer; De Gee; Davidson, 1987

Após obtenção dos dados resultantes do experimento, observou-se que quanto maior o fator de configuração, maiores foram as tensões geradas durante a contração de polimerização, devido à redução na capacidade de

escoamento. Os autores relataram, ainda, que a maioria das restaurações possuem fator C de aproximadamente 1 a 2, e que, valores menores ou igual a 1 referem-se a restaurações do tipo Classe IV e camadas de resina aplicadas em superfícies planas ou curvas rasas. Nestas situações, verificou-se que a adesão à dentina com os adesivos atuais sobreviveu às tensões provenientes da contração de polimerização. Já, em cavidades com fator $C > 2$, pode-se esperar uma falha na união dentina/resina. Portanto, os autores descreveram que a maior parte das cavidades não proporciona um adequado escoamento a fim de preservar a adesão do material restaurador com a estrutura dentária obtida com os sistemas adesivos.

Os mesmos autores, no ano seguinte, estudaram o desenvolvimento da contração livre de polimerização de uma série de resinas compostas e de cimentos ionoméricos. Para realização deste estudo, utilizou-se um dilatômetro que registrou a contração de 26 materiais durante 24 horas. Relataram que os cimentos ionoméricos convencionais estudados apresentaram um baixo desenvolvimento de contração de polimerização quando comparados às resinas compostas e que, a razão de contração de polimerização tem relação com a quantidade, o tamanho e o tipo de partículas de carga.

Não só atentos à forma cavitária, técnicas de inserção e aos valores de resistência de união, **KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON**⁶², em 1988, consideraram também as propriedades intrínsecas dos materiais resinosos para calcular teoricamente as tensões resultantes da contração de polimerização, desenvolvidas em três técnicas de inserção: volume único, incremental e restauração da fenda marginal com uma resina de baixa viscosidade. Demonstraram claramente que a preservação do vedamento marginal está diretamente relacionada com o módulo de elasticidade do material restaurador. Buscando relacionar tal fato, os autores realizaram um estudo clínico e laboratorial. Para fase laboratorial, utilizaram-se 20 dentes bovinos, nos quais cavidades cervicais com 4 mm de diâmetro foram realizadas. Dez cavidades foram restauradas com Silux (3M) e as outras dez com P-30 (3M), sendo então polimerizadas por 40 segundos, para, em seguida, proceder-se à aplicação de uma resina fluida nas margens das restaurações. Os dentes foram seccionados para que as réplicas fossem preparadas, no intuito de possibilitar uma análise em microscópio eletrônico de varredura. Fazendo parte do estudo clínico, 20

cavidades cervicais foram restauradas como descrito. Com os resultados deste trabalho, verificou-se, a partir da análise em MEV, tanto nas restaurações realizadas no laboratório, quanto nas feitas no estudo clínico, antes do selamento marginal, que em todas as 40 restaurações foram observadas fendas marginais. Após o selamento das margens com resina fluida, todas 20 restaurações realizadas com Silux no laboratório e 17 feitas clinicamente apresentaram-se com perfeito selamento, em contraste com as restaurações confeccionadas com P-30, as quais mostraram fendas entre as paredes cavitárias e a resina composta, apesar de se verificar a penetração da resina fluida. Com isso, resinas com alto módulo de elasticidade desenvolveram maiores tensões durante a contração de polimerização. De forma contrária, resinas com baixo módulo de elasticidade compensaram boa parte das tensões, justamente por estas tensões se expressarem pelo produto da contração linear e pela rigidez do material.

Sabendo que a contração de polimerização é conseqüente da formação de ligações covalentes curtas entre as unidades monoméricas da resina composta e que esta pode conduzir a formação de fendas marginais, **REES; JACOBSEN**⁸⁹, em 1989, avaliaram o valor da contração de polimerização ocasionado em cinco resinas (Heliomolar, Occlusin, P-30- para dentes posteriores e Aurafill, Concise e Silar para anteriores), por meio de um dilatômetro contendo água. Foi verificado que a Aurafill (fotopolimerizável) apresentou a maior porcentagem de contração, 2,24%, enquanto que a Concise e Silar (ativação química) a menor, 1,18% e 1,10%, respectivamente. As resinas para dentes posteriores, Occlusin e P-30, também apresentaram baixos valores, 1,16% e 0,9%, respectivamente. Foi observado que a grande maioria da contração ocorre dentro dos primeiros 60 minutos. Atribuíram os baixos valores encontrados para as resinas para dentes posteriores ao baixo conteúdo de matriz orgânica e conseqüente à alta quantidade de partículas de carga. Quanto a Heliomolar e a Silar a baixa contração vista foi em função da presença de partículas pré-polimerizadas nestas resinas, resultando em um alto conteúdo final de carga inorgânica. Os autores ainda consideraram que o peso molecular e a configuração dos diferentes monômeros podem afetar a contração.

SAKAGUCHI; DOUGLAS⁹⁵, em 1989, desenvolveram um sistema para medir mudanças dimensionais em compósitos durante sua polimerização. Extensômetros elétricos (3,18 mm de comprimento, fator 2,065) foram colocados em contato com as amostras de resina para medir a contração linear. Os sinais emitidos foram amplificados por um condicionador de sinais, para serem analisados digitalmente. Para uma amostra de P-50 com um milímetro de espessura, 0,19% de contração linear foi encontrado. O valor da contração diminuiu com aumento da espessura do espécime e com o afastamento da fonte de luz.

Acreditando que a flexibilidade dos materiais restauradores, a qual se define como a habilidade do material se estender sem se tornar permanentemente deformado, compensando, em parte, as tensões proporcionadas pela contração de polimerização, **KEMP-SCHOLTE; DAVIDSON⁶¹**, em 1990, estudaram a capacidade de selamento marginal de alguns sistemas restauradores adesivos e combinações destes com vários materiais de base. A flexibilidade e o mecanismo de compensação das tensões da contração de polimerização foram o alvo do estudo. Noventa e seis dentes hígidos e recentemente extraídos foram utilizados para realização de restaurações de Classe V, tanto em sua face vestibular quanto na lingual. As cavidades preparadas apresentavam-se com 4mm de largura e com margens localizadas parcialmente em esmalte e também em dentina. Parte do esmalte foi biselado e condicionado com ácido fosfórico por 60 segundos. As cavidades foram restauradas a partir de uma combinação de materiais (Tabela 1). Todos os materiais foram manipulados de acordo com as instruções dos fabricantes, sendo que nos grupos acima descritos a resina Silux foi inserida em volume único, com exceção do grupo 2, no qual inseriu-se de forma incremental. O grupo 3 foi realizado conforme o primeiro, diferenciando-se pela aplicação de um agente de união nas margens das restaurações, após o acabamento das mesmas. Nos grupos 6 a 8, as cavidades foram condicionadas com ácido poliacrílico e, em seguida, aplicado o cimento de ionômero de vidro. Neste caso, procedeu-se à realização da aplicação do ácido, do agente de união e restauração do restante da cavidade, conforme já descrito. Nos grupos de 9-12, um cimento de ionômero de vidro fotopolimerizável foi aplicado em toda dentina, para depois a cavidade ser completamente restaurada com a resina

Silux. Foi realizada uma termociclagem com 600 ciclos, entre 5° e 60° C com metade dos espécimes de cada grupo e um seccionamento em todos eles para o exame da integridade marginal em microscópio eletrônico. Para as associações vistas nos grupos 4, 5, 9 e 12, medidas de resistência ao cisalhamento foram avaliadas. Também foram estudadas medidas das tensões de contração de polimerização referentes às associações dos grupos 4, 5, 9 e 12. Como resultados, os autores descreveram o percentual de amostras com fenda marginal, conforme descrito a seguir: G 1- 37%; G 2- 22%; G 3- 5%; G 4- 25%; G 5- 0%; G 6- 42%; G 7-15%; G 8- 45%; G 9- 0%; G 10- 0%; G 11- 13%; G 12- 0%. Desta maneira, pôde-se verificar que com a aplicação de uma camada intermediária de uma resina fluida ou de um cimento de ionômero de vidro fotopolimerizável entre o agente de união e a resina Silux, a adaptação marginal foi completa e perfeita. A partir dos resultados obtidos da resistência ao cisalhamento para se observar a efetividade de união, pôde-se notar que, apesar do grupo 4 (14,8 MPa) apresentar uma resistência semelhante aos outros grupos (G5-11,1; G9- 5,6; G10- 10,2; G12- 8,4 MPa), que obtiveram perfeito selamento marginal, este não apresentou um bom percentual de adaptação marginal, demonstrando que a resistência de união não se correlacionou com a adaptação marginal, mas sim, com a flexibilidade do sistema restaurador. Baseado nos resultados, foi descrito que a solução do problema da infiltração marginal pode estar no aumento da flexibilidade dos materiais restauradores.

Tabela 1- Grupos estabelecidos neste estudo a partir da combinação dos vários materiais

Grupos	Ag. de união	Camada intermediária
1	Scotchbond 1	***
2	Scotchbond 1*	***
3	Scotchbond 1**	***
4	Scotchbond 2	***
5	Scotchbond 2	Silux enamel bond resin
6	Fuji lining cement	Scotchbond 1
7	Fuji lining cement	Scotchbond 2
8	GI lining cement	Scotchbond 1
9	Scotchbond 2	Vitrabond
10	Scotchbond 2	Ioline
11	Scotchbond 2	Iocomp
12	Tenure bond	Zionomer paste

*Silux aplicada em duas camadas/ ** Margens seladas com Silux enamel bond.

FEILZER; DE GEE; DAVIDSON⁴², em 1990, descreveram sobre o mecanismo de contração de polimerização enfatizando que as tensões produzidas são diminuídas pelo fluxo do material, e, se houver uma transposição do limite elástico, pode então ocorrer uma deformação plástica. Registram também, que durante a fase inicial da reação de polimerização, a rede polimérica é ainda fraca, portanto as tensões ocorridas neste momento não promovem prejuízos nem à estrutura interna da resina, nem à união adesiva, uma vez que as moléculas ainda têm a possibilidade de se movimentar para novas posições e orientações. Este tipo de movimentação é caracterizado como escoamento ou fluxo do material, o qual é reduzido significativamente com o passar do tempo, especialmente pelo aumento da rigidez. Isto, segundo os autores, resulta em sérios problemas para a manutenção da união adesiva, justamente pelo fato das tensões aumentarem com o tempo e o material não poder compensá-lo com o escoamento. A partir disto, propuseram determinar e quantificar a redução das tensões pelo escoamento em várias configurações cavitárias (C) de quatro resinas compostas, P10, Silar, Brilhant e Clearfil Posterior. Desta forma, utilizou-se o mesmo aparato já descrito em trabalho⁴⁸ de suas autorias publicado em 1987, avaliando nas seguintes configurações cavitárias, C= 0,5; 2,0; 2,5 e 5,0. Diante dos dados obtidos, observou-se que em nenhuma das resinas testadas em configuração cavitária de 0,5, as tensões de contração excederam os valores de resistência de união à dentina. Quanto à redução das tensões pelo escoamento, verificou-se que esta foi em função do fator de configuração e pelo tipo de material. Para amostras da resina P10 em C= 0,5, verificou-se um alívio de 71% das tensões de contração, enquanto para C= 2 este foi de apenas 35%. Nas amostras com C= 2,5 e 5, a redução das tensões pelo escoamento não foi alta o bastante (24% e insignificante, respectivamente) para prevenir fraturas, uma vez que a capacidade de escoamento foi excedida. Concluíram que a redução das tensões pelo escoamento e a capacidade de fluxo estão em função do material e da configuração cavitária, e que este escoamento contribui grandemente para redução das tensões de contração em restaurações com baixo fator C e insuficientemente em situações com alto fator C.

SAKAGUCHI et al.⁹⁴, em 1991, descreveram que parte da contração de polimerização das resinas compostas ocorre antes do ponto gel, não induzindo tensões, sendo que a compensação é feita pelo escoamento do material. Assim, afirmaram que a contração pós-gel é o maior problema quando do uso clínico das resinas compostas, sendo a magnitude desta contração um importante critério para avaliação de novos materiais resinosos. Relataram ainda, que os extensômetros elétricos (*strain gauges*) são extremamente sensíveis à mudanças lineares quando está unido ao substrato. Esta mudança linear só é transferida para o sensor elétrico quando o substrato está em fase pós-gel. Estes extensômetros elétricos unidos diretamente no material resinoso pode ser uma ótima opção para determinação da parte clinicamente significativa da contração de polimerização. Desta forma, determinou-se a contração de polimerização de espécimes (6mm de diâmetro X 1mm de espessura) de três tipos de resina (P-50, Silux Plus e Herculite) com este método. Assim, os extensômetros elétricos foram fixados na base das amostras de resina, os quais registraram os sinais referentes à alteração dimensional que foram amplificados e analisados digitalmente. Salientaram que estes sensores medem as mudanças dimensionais somente no seu longo eixo. Os valores encontrados foram: Herculite: 0,19%; P-50: 0,21%; Silux Plus: 0,17%. Frente a estes baixos valores, os autores explicaram que este método mede somente a contração pós-gel em dimensão linear, sendo esta metodologia capaz de separar a parte clinicamente significativa.

A partir do conhecimento sobre o alívio das tensões provenientes da contração de polimerização, pelo escoamento da resina, quando polimerizada lentamente, **UNO; ASMUSSEN**¹⁰⁷, em 1991, investigaram o efeito da redução da polimerização na adaptação marginal, na resistência adesiva e compressiva. Assim, cavidades em dentina foram restauradas com a resina Silux e polimerizadas com diferentes tempos e intensidades de luz (Tabela 2). A adaptação marginal foi medida sob microscópio óptico, quantificando, em termos de porcentagem, as fendas formadas. Os ensaios mecânicos para verificação da resistência adesiva por cisalhamento e compressiva diametral nas diferentes situações de polimerização foram realizados convencionalmente. Os dados obtidos mostraram uma maior formação de fendas nos grupos que receberam uma polimerização com intensidade total (1-

60s-220V e 2- 30s-220V). Os grupos D (30s- 110V + 30s- 220V) e E (60s- 110V) proporcionaram os melhores resultados em termos de redução na formação de fendas, sendo que o último com resultados bastantes favoráveis à adaptação marginal. Contrariamente, este grupo E proporcionou os mais baixos valores na resistência adesiva e compressão diametral. Assim, concluíram que a melhor postura seria associar a baixa e alta intensidade de luz, pois assim estaria pensando-se em alcançar uma adaptação marginal favorável com propriedades mecânicas adequadas.

Tabela 2- Demonstração dos grupos estudados e seus respectivos resultados

Grupos	% de Fendas marginal	Resistência adesiva (MPa)	Resistência compressiva (MPa)
<i>1- 60s-220V</i>	60	15,5	42,1
<i>2- 30s-220V</i>	60	12,4	39,8
<i>A- 5s-110V / 25s- 0V / 30s- 220V</i>	48	-	-
<i>B- 10s-110V / 20s-0V / 30s- 220V</i>	58	-	-
<i>C- 20s-110V / 10s-0V / 30s- 220V</i>	58	-	-
<i>D- 30s-110V / 30s- 220V</i>	45	15,5	38,3
<i>E- 60s- 110V</i>	3	0,8	27,2

Com o objetivo de aumentar o uso de resinas diretas em dentes posteriores, **BERTOLOTTI**⁸, em 1991, descreveu uma técnica de aplicação de resinas compostas visando a redução das tensões provenientes da contração de polimerização e, assim reduzindo os índices de sensibilidade pós-operatória. Nesse sentido e de posse do conhecimento que as resinas compostas quimicamente ativadas proporcionam vetores de contração junto às paredes cavitárias, o autor propôs uma técnica em que este tipo de resina era aplicado inicialmente até a junção dentina/esmalte e, em seguida, o restante da

cavidade era restaurado com uma resina fotoativada. Desta maneira, foi afirmado que esta técnica reduz a contração das resinas junto às paredes cavitárias, resultando em restaurações com melhores adaptações e com mínima sensibilidade pós-operatória.

Também conhecendo as vantagens das resinas ativadas quimicamente, **FUSAYAMA**⁴⁹, em 1992, propôs que estas devam ser utilizadas para restaurações de dentes posteriores, pois as resinas fotoativadas contraem em direção à camada superficial irradiada, conduzindo à formação de uma fenda entre a parede cavitária e a restauração. Para confirmar esta assertiva, o autor relatou que as resinas de ativação química não proporcionam separação na interface adesiva. Assim, indicou que as resinas quimicamente ativadas devem ser utilizadas para a restauração de cavidades profundas e com margens em dentina.

SAKAGUCHI et al⁹³., em 1992, relataram, inicialmente, que a resina composta possui um grande problema quando se polimeriza, o qual se define como a já tão estudada contração de polimerização, que pode ser dividida em duas fases: pré-gel e pós-gel. Descreveram, ainda, que na fase inicial (pré-gel), o material é capaz de escoar e aliviar as tensões, entretanto, com o passar do tempo, a resina torna-se mais rígida, aumentando, portanto, seu módulo de elasticidade e tornando-se incapaz de compensar as tensões provenientes da contração de polimerização. Dentro deste aspecto, os autores avaliaram as forças de tensões de contração de algumas resinas compostas (Silux, Heliomolar, Herculite XR e P-50), por meio de um novo modelo desenvolvido, no qual um anel acrílico desempenhava a função de simular uma restauração de resina composta circundada por dentina. Após a aplicação da fonte de luz, a resina Heliomolar demonstrou significativamente menor contração de polimerização quando comparada aos outros materiais. Já, aos 14 minutos, sua diferença não foi significativa, embora ainda apresentasse menores valores de contração. A resina P-50 apresentou um rápido e alto desenvolvimento de tensões de contração de polimerização (1,7 MPa). Atribuíram tais resultados à composição dos materiais, pois a resina Heliomolar não possui TEGDMA (Trietilen Glicol Dimetacrilato) associado ao BISGMA (Bisfenol Glicidil Metacrilato) e sim BISGMA e UEDMA (Uretano Dimetacrilato), o qual possui menor módulo de elasticidade quando polimerizado. O UEDMA pode contrair-

se menos, ou devido ao seu menor módulo elástico, compensar a contração. Já, a resina P-50 possui um alto módulo elástico, aumentando a tendência de gerar uma alta tensão inicial. Os autores concluíram que este modelo parece proporcionar um razoável prognóstico da contração de polimerização das resinas compostas.

No mesmo ano, **SAKAGUCHI; DOUGLAS; PETERS⁹⁶**, avaliaram a contração de polimerização de algumas resinas compostas por meio da utilização de extensômetros elétricos. Assim, diante de suas observações relataram que este método de avaliação da contração de polimerização apresenta dados ou resultados bastante baixos numericamente. Isto foi explicado pelo simples fato do método medir apenas a contração pós-gel, pois na fase pré-gel o fluxo molecular compensa a contração de polimerização. Desse modo, a resina deve atingir um certo módulo de elasticidade, para que possa deformar o extensômetro elétrico. No entanto, os autores afirmam que este é um método que pode ser um melhor indicador da contração clinicamente significativa.

Como a reação de polimerização das resinas compostas fotopolimerizáveis é mais rápida do que as quimicamente ativadas, **FEILZER; DE GEE; DAVIDSON⁴⁴**, em 1993, investigaram o desenvolvimento das tensões de contração de polimerização em relação ao fator de configuração. Para tal, o aparato e a metodologia descritos em seus trabalhos anteriores foram utilizados com pequenas modificações, pois, agora, trabalharam-se com resinas fotopolimerizáveis, P 30 e Silux. Portanto, os autores relataram que as resinas ativadas por luz geralmente apresentaram altas tensões de contração de polimerização e menor escoamento, comparadas às resinas ativadas quimicamente. Em alto fator C, estas resinas apresentaram baixo escoamento das tensões, com fraturas coesivas do material, mas observou-se também, que a resistência coesiva das resinas fotopolimerizáveis se desenvolve mais rapidamente do que as resinas quimicamente ativadas.

Buscando confirmar ou mesmo avaliar o potencial da área adesiva, funcionando como uma camada elástica entre a estrutura dentinária e a resina composta, **VAN MEERBEEK et al.¹¹⁰**, em 1993, determinaram o módulo de elasticidade e a dureza da dentina intertubular, da zona de interdifusão entre adesivo e colágeno, do adesivo sobre a camada híbrida e de uma resina de

baixa viscosidade aplicada sobre o adesivo (Clearfil Protect Liner). O método utilizado para esta investigação foi por meio da nano-indentação. Assim, discos de dentina foram obtidos de dentes extraídos e, sobre estes foram aplicados sistemas adesivos (All-Bond 2; Clearfil Liner Bond, Mirage Bond e Scotchbond Multi-Purpose), conforme instruções dos fabricantes. Uma camada de uma resina de baixa viscosidade foi aplicada sobre o adesivo (Clearfil Protect Liner), tendo a intenção de funcionar como um “colchão amortecedor”. Os dados obtidos quanto à dureza e módulo de elasticidade, respectivamente, foram: Dentina- 496 MPa / 19259 MPa; Zona de interdifusão- 148-196 MPa / 8157-9687 MPa; Adesivo- 102-113 MPa / 4171 MPa; Resina de baixa viscosidade- 197 MPa / 5872 MPa. Diante destas observações, afirmaram que a camada híbrida junto com a faixa de adesivo forma artificialmente uma parede cavitária elástica, conforme definido por Kemp-Scholte; Davidson (1990). Assim, esta área adesiva pode ter um importante papel na compensação das tensões de contração da resina composta restauradora. O mesmo foi visto com a aplicação de uma resina de baixa viscosidade sobre o adesivo.

UNTERBRINK; MUESSENER¹⁰⁸, em 1995, afirmaram que as tensões criadas na interface adesiva não estão simplesmente em função da contração volumétrica, mas sim, de uma interação de vários fatores, como por exemplo, um alto módulo de elasticidade que conduz a um aumento nas tensões de contração. Os autores examinaram o efeito da variação da intensidade de luz de dois sistemas restauradores (Tetric e Z100), especialmente quanto à sua adaptação marginal. Utilizaram-se 48 incisivos bovinos para confecção de cavidades com diâmetro de 3,2mm e 2,5mm de profundidade, que foram restauradas com os materiais acima citados e fotoativados de duas formas, alta intensidade – 450 mW/cm² ou baixa intensidade - 250 mW/cm². O exame de verificação e quantificação das fendas foi realizado por meio de fotomicrografias eletrônicas. Após as observações realizadas, verificou-se, especialmente para resina Z100, uma menor formação de fendas marginais quando foi utilizada uma baixa intensidade de luz, mas, ao mesmo tempo, houve uma quantidade superior de formação de fenda, quando comparada com a resina Tetric, que não foi afetada com a variação da intensidade de luz. Concluíram que restaurações de resina composta polimerizadas com alta intensidade de luz podem conduzir a pobres adaptações marginais e que o

desenvolvimento do módulo elástico é influenciado pela intensidade de luz, representando um fator importante em termos de contribuição para alteração das tensões de contração de polimerização.

Baseado no conhecimento de que uma das formas de reduzir as tensões de contração é a utilização de bases elásticas (resinas com baixo módulo de elasticidade), **FEILZER et al.**⁴¹, em 1995, determinaram o efeito da absorção das tensões e a influência da intensidade de luz na integridade marginal de restaurações de resina composta. Cavidades tipo Classe V foram confeccionadas em dentes extraídos e restauradas da seguinte forma: Grupo 1- aplicação convencional do Clearfil Liner Bond + Protect Liner + Resina composta; Grupo 2- semelhante ao grupo 1, porém sem aplicação do Protect Liner; Grupo 3- Semelhante ao grupo 1, porém toda a cavidade foi restaurada com o Protect Liner. Para cada grupo, metade dos espécimes foram polimerizados com uma intensidade de luz de 250 mW/cm² e a outra com 650 mW/cm². Os espécimes foram analisados sob microscopia eletrônica de varredura (MEV) e, frente aos resultados, pôde-se verificar ausência de diferenças significantes quanto à variação da base elástica. Apesar de esperarem alguma diferença entre estes grupos, atribuíram estes achados à melhora do adesivo Clearfil, quanto à resistência adesiva e à resina utilizada para restauração das cavidades, pois esta apresenta um baixo módulo de elasticidade. Assim, pequenas diferenças são difíceis de serem detectadas, a menos que fosse utilizada uma resina de maior módulo de elasticidade e com uma maior amostragem. Quanto a influência da intensidade de luz, foi verificado que os grupos polimerizados com 250 mW/cm² apresentaram melhor integridade marginal. Este fato foi explicado por meio do comportamento visco-elástico da resina composta, pois esta sob baixa intensidade de luz apresenta um menor desenvolvimento na cinética de polimerização, reduzindo-se assim as tensões promovidas.

Com a idealização da técnica de associação entre resina ativada quimicamente, aplicada nas regiões mais profundas, e resina fotopolimerizável para contorno externo, **GARBEROGLIO; COLI; BRÄNNSTRÖM**⁵⁰, em 1995, investigaram por análise de microinfiltração e MEV a qualidade marginal de restaurações com associações desta natureza. Cavidades classe II foram confeccionadas e restauradas com as seguintes associações: G1- All-Bond /

Palfique (ativação química); G2- All-Bond / Bisfil 2B (ativação química); Super Bond D Liner / Palfique (ativação química) e Super Bond D Liner / Bisfil 2B (ativação química). O restante da cavidade foi restaurada com uma resina fotopolimerizável. Dentre os resultados encontrados, uma melhor adaptação marginal foi observada para combinação All-Bond / Bisfil 2B. A combinação da resina Palfique com o adesivo Super Bond produziu fendas em oito de dez espécimes. Os autores atentaram para a possibilidade de incompatibilidade química entre este adesivo e resinas de ativação química. Os bons resultados do grupo 1 foram atribuídos ao direcionamento da contração da resina química para o dente e à redução na velocidade de reação de polimerização, permitindo o alívio das tensões de contração. Assim, foi sugerido que quando uma primeira porção de resina de ativação química é colocada entre o adesivo e a resina fotoativada, uma boa adaptação marginal pode ser alcançada.

Em 1995, **MILLS**⁸² escreveu uma carta, discorrendo sobre a possibilidade da utilização de LEDs para fotopolimerização de resinas compostas. Nela descreveu algumas vantagens como, baixo custo, longa vida útil e emissão de energia em comprimento de onda específico. Relatou que o LED polimerizou bem amostras de resina com 2mm de espessura com 80 s de exposição. Assim, afirmou que aparelhos compactos podem ser montados com emissão de energia em 470nm.

Com o objetivo de solucionar o problema da contração de polimerização, **GORACCI; MORI; de MARTINIS**⁵², em 1996, avaliaram a adaptação marginal de restaurações de resina composta (Z100/ Scotchbond Multi Purpose), quando fotoativadas com intensidade de luz convencional, 40s – 250 mW/cm², e de forma gradual (primeira camada de resina – 30 a 250 mW/cm² em 4 minutos). Após a restauração dos dentes, esses foram seccionados e preparados para análise sob MEV, pela técnica de obtenção de réplicas. No grupo em que as restaurações foram polimerizadas de forma gradual foi observado que a interface dente/restauração estava contínua sem a presença de fendas (Figura n.2). Atribuíram esses resultados ao aumento da fase pré-gel da resina composta onde existe a possibilidade das moléculas se redirecionarem, fazendo com que haja um relaxamento das tensões provenientes da contração de polimerização. Desse modo, foi afirmado que o sucesso das restaurações de resina composta é dependente da associação de

três fatores: razão de contração, capacidade de escoamento da resina e resistência adesiva.

Figura 2– Fotomicrografia da réplica de um espécime fotoativado de forma convencional. Goracci; Mori; De Martinis⁵², 1996

Figura 2 – Fotomicrografia da réplica de um espécime fotoativado de forma gradual. Goracci; Mori; De Martinis⁵², 1996

A importância do entendimento dos princípios que podem interferir em uma união ideal de resina composta com a dentina e a necessidade de promover manobras clínicas a fim de melhorar a qualidade das restaurações fizeram com que, **CARVALHO et al.**¹⁷, em 1996, revisassem a respeito dos fatores que propiciam à resina composta um maior alívio das tensões provenientes da contração de polimerização. Relataram inicialmente sobre o fator de configuração cavitária, afirmando que o relaxamento das tensões está em função da deformação elástica do material e do escoamento para superfícies livres. Destacaram que as cavidades de Classe V superficiais apresentam uma adequada área livre para alívio das tensões, enquanto que as do tipo caixa possuem uma maior área de superfície aderida. Comparando resinas fotopolimerizáveis com as quimicamente ativadas, os autores descreveram que as últimas possuem uma reação mais lenta, permitindo assim um maior tempo para alívio das tensões de contração de polimerização. A respeito da sorção de água, afirmaram que, quanto maior a concentração de matriz orgânica na composição de uma resina composta, maior será a tendência para sorção de água, o que parcialmente compensa a contração de polimerização. Nesse sentido, dissertaram sobre soluções para redução da competição existente entre resistência de união à dentina e as forças de contração de polimerização, sendo que, enfatizaram inicialmente sobre a

necessidade do desenvolvimento de agentes adesivos dentinários capazes de efetuar uma imediata resistência de união, superior às forças de contração de polimerização e igual à obtida com o condicionamento ácido do esmalte. Uma segunda solução seria a colocação de uma camada elástica entre a resina composta e a dentina, a fim de absorver as tensões provocadas pela contração de polimerização ou até mesmo da própria mastigação. E como terceira solução, citaram a técnica de inserção incremental, a qual reduz o volume de resina que contrai durante a polimerização, assim como diminui o fator C, uma vez que a porção de resina colocada possuirá grande quantidade de área livre para aliviar as tensões geradas pela contração de polimerização. Dentro deste aspecto, concluíram que o sucesso clínico das restaurações de resina composta está no entendimento e aplicação destes fatores, pois estes podem reduzir as forças de contração de polimerização.

Buscando facilitar o entendimento do mecanismo de contração de polimerização dos compostos resinosos, a fim de conseguir restaurações melhores adaptadas ou seladas, **DAVIDSON; FEILZER**³⁴, em 1997, revisaram os métodos determinantes da contração de polimerização, das tensões provenientes da contração de polimerização e de seu efeito clínico na interface adesiva. Desta forma, relatou-se que as conseqüências da contração de polimerização são dependentes do escoamento do material e que as tensões provenientes deste mecanismo podem ser as responsáveis pelos problemas encontrados com as restaurações adesivas com resina composta. Estas tensões, segundo os autores, ocorrem quando a contração é impedida e o material é rígido o bastante para resistir ao escoamento plástico a fim de compensar o volume original. Descreve-se também, que a magnitude deste não está dependente apenas das características das estruturas circunvizinhas, mas também da natureza do material, especialmente das propriedades visco-elásticas. Assim sendo, em dado valor de contração, o material mais rígido causará tensões mais altas. Abordando, também, os mecanismos de alívio das tensões provenientes da contração de polimerização, dissertaram a respeito da configuração cavitária, e afirmaram que, quanto menor a quantidade de paredes opostas unidas, menor obstrução existirá para a contração. Outro fator citado foi a utilização de bases com baixo módulo de elasticidade, as quais terão a função de absorver as tensões da contração, melhorando, assim, a

manutenção da união adesiva. Concluíram que o entendimento do mecanismo que causa estes problemas, tais como, infiltração marginal e sensibilidade pós-operatória, junto com a aplicação de uma técnica correta, podem auxiliar na redução de seus efeitos e aumentar a longevidade clínica destas restaurações.

Recentemente, tem sido preconizado pré-polimerizar a resina composta com uma baixa intensidade de luz, seguido por uma pós-polimerização em intensidade convencional, conduzindo-se a uma melhor adaptação marginal. Assim, **MEHL, et al.**⁷⁹, em 1997, avaliaram este procedimento com diferentes condições de polimerização inicial, em relação às propriedades físicas do material como, módulo flexural, resistência flexural e dureza Vickers. Conduziu-se também, um estudo “in vitro” para investigar a influência dessa técnica na qualidade marginal de restaurações em resinas compostas em cavidades classe V, com uma das margens na junção cimento-esmalte. Foram confeccionados cento e cinquenta corpos-de-prova para cada material (Tetric e Charisma), com 25mm de comprimento, 2mm de altura e 2mm de largura (avaliação do módulo e resistência flexural). A quantidade de polimerização inicial foi variada pela mudança da distância entre a fonte de luz e o molde dos corpos-de-prova. Para cada distância, a intensidade na superfície dos espécimes foi medida com um radiômetro. A intensidade de 100% foi de 450mW/cm^2 (0 mm) e as distâncias de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 50mm corresponderam respectivamente à 80, 70, 62, 56, 50, 37 e 13% da intensidade total. Para cada material, as amostras foram divididas em 15 grupos com dez cada. Entretanto, o primeiro foi o grupo controle (100% de luz por 60 segundos) e os sete seguintes receberam uma intensidade inicial, respectivamente, de 80, 70, 62, 56, 50, 37 e 13% durante 20 segundos e logo em seguida, todos foram polimerizados com alta intensidade (100%), por 40 segundos. Nos sete grupos restantes, a intensidade foi a mesma, mudando apenas o tempo para 40 segundos de polimerização inicial e 20 segundos para a polimerização final. Os testes foram realizados em máquina de testes universais, em velocidade de 0.7mm/min. Com o intuito de avaliar a influência desta técnica na dureza, foram confeccionados 27 corpos-de-prova de ambos materiais com 9mm de diâmetro e 2mm de altura. A intensidade e tempo do grupo controle foram similares ao descrito acima, mas os espécimes dos outros grupos receberam somente 80, 62, 50 e 13% de densidade de luz inicial, por 20 segundos,

seguido de 40 segundos de densidade total. Obtiveram-se as medidas da dureza a partir de uma carga de 500g em 20 segundos. Trinta e dois molares extraídos foram utilizados para análise da adaptação marginal. Realizou-se 32 cavidades classe V com margem em dentina ou cimento e divididos em quatro grupos com oito dentes cada. O grupo controle foi polimerizado com 100% de intensidade por 60 segundos. Os três grupos restantes foram polimerizados com 70, 50 e 37% de densidade de luz (20s), seguida pela polimerização máxima (100%), por 40 segundos. Réplicas foram analisadas, sob microscópio eletrônico de varredura, a adaptação marginal antes e após a termociclagem.

Diante dos resultados, concluíram que com a redução da intensidade de luz inicial seguido de uma polimerização final em alta intensidade não houve nenhum prejuízo quanto às propriedades dureza, módulo e resistência flexural. Com esta sistemática de polimerização houve uma melhor integridade marginal, comparado aos sistemas de polimerização com alta intensidade de luz. Em relação à termociclagem, o grupo controle (100%), antes deste procedimento, não apresentou diferenças significantes quando comparado com os grupos 56 e 70%, entretanto após a termociclagem diferenças significativas foram notadas. Observaram, também, um alto grau de adaptação marginal, quando a restauração foi pré-polimerizada com 56 e 70% por 20s e complementada com 100% de intensidade por 40s, justificado por uma alta intensidade não permitir escoamento necessário para alívio das tensões internas.

De forma a introduzir um novo método para avaliação da contração linear de polimerização de resinas compostas, **FANO, et al.**³⁹, em 1997, analisaram a contração de cinco tipos de resinas. Assim, por meio da utilização de um laser de He-Ne (hélio - neodímio), com um comprimento de onda diferente do necessário para polimerização das resinas compostas, a contração de cinco resinas, Heliomolar (HM), Helioprogress (HP), Silux (SX), Prisma APH (PH) e Coltene (CO), foi monitorada por dois dias. Praticamente, a contração foi determinada pela diferença no comprimento da amostra de resina antes e após a polimerização, em que o feixe de laser passava pela mesma, registrando sua dimensão inicial e, em seguida à polimerização, a final. Os resultados obtidos imediatamente à polimerização e após 24h foram, respectivamente (%): HM- 0,63; 0,90, HP- 0,64; 0,86, SX- 0,65; 0,80, PH- 0,71;

0,97, CO- 0,77; 1,0. Observaram que grande parte da contração ocorre após a polimerização e, que após 4 horas praticamente toda contração ocorreu no material.

Atentos aos vários fatores que afetam a contração de polimerização, **BOUSCHLICHER; VARGAS; BOYER**¹², em 1997, determinaram a força de contração de polimerização de tipos diferentes de resina (Silar, Silux e Z100) e de restaurações com diferentes configurações cavitárias (C= 1; 3 e 5). Para isso, os testes foram realizados em uma máquina de teste universal, em que o material era colocado entre dois discos de 5mm de diâmetro, mas com diferentes alturas 2,5mm, 0,83mm e 0,5mm. Desta forma, conseguiu-se estabelecer, respectivamente, as seguintes configurações 1,0, 3,0 e 5,0, as quais foram obtidas a partir da equação determinada por FEILZER et al⁴⁰, que é expressada pela divisão do diâmetro da área unida por duas vezes a altura do espécime (área livre). Para verificar o efeito do tipo de resina composta, os testes foram realizados em configuração fixa (C=3). Após a realização dos testes, verificou-se a existência de diferença entre as resinas estudadas, especialmente entre a resina de ativação química e as fotoativadas. Observou-se que a resina Silar teve uma baixa elevação na força de contração (0,1 N/s), a Silux apresentou-se com dados intermediários (2,1 N/s) e a Z100 com uma alta elevação da força de contração inicial (4,14 N/s). O mesmo comportamento foi visto com o desenvolvimento da força de contração de polimerização (Z100- 90,4 N; Silux- 65,8 N; Silar- 25 N). Quanto ao fator de configuração, verificaram resultados inversamente relatados pela teoria do fator C. O valor da força de contração de polimerização foi mais alto quando a configuração foi estabelecida em C=1 (103,4 N), quando comparado com as outras configurações, C=3 (90,4 N) e C=5 (81,8 N).

Em sua discussão, relataram que resinas com alto conteúdo de carga apresentam maiores escores de microinfiltração quando comparadas com outros compósitos utilizando o mesmo sistema adesivo. Explicaram o alto valor da força de contração obtido pela resina Z100 (Figura n.3), quando comparada à resina Silux, que foi em função do módulo de elasticidade e da quantidade de partículas de carga. Já, em relação ao fator de configuração, relataram que o aparelho utilizado no trabalho de FEILZER et al⁴⁰. mantinha a configuração completamente rígida, de forma que falhas coesivas precoces em C>2,0 eram

verificadas. Já o aparelho utilizado neste estudo, não se apresentava completamente rígido. E um fator importante, considerado pelos autores, foi o volume de material, o qual nas altas configurações cavitárias, os espécimes apresentavam uma altura menor, ou seja, o volume de material era inferior quando comparado às configurações menores que demonstravam maior altura. Com isso, amostras associadas numericamente com baixo fator C resultavam em mais contração linear e, entretanto, alto registro de forças (Figura n.3).

Figura 3- Gráfico demonstrando o perfil de tensão produzida pelas três resinas (esquerda) e pelos três valores de fator C (direita). Bouschlicher; Vargas; Boyer¹², 1997

SAKAGUCHI; FERRACANE⁹⁷, em 1998, relataram que a contração do polímero resulta em tensão interna e deformação, que podem produzir um aumento no comprimento dos defeitos internos, assim como ser transferidos para interface de união ou para superfícies livres. Afirmaram que a contração antes do ponto gel pode ser compensada por um rearranjo molecular da cadeia polimérica, porém, após este, ocorrerá um desenvolvimento da rigidez conduzindo a uma limitação da mobilidade do polímero que proporcionará um desenvolvimento de tensões internas. Uma vez que a maioria da contração ocorre enquanto a resina está inelástica, esta resultará, segundo os autores, em deformação permanente. Relataram, ainda, que estudos feitos por meio de medidas de deformação em amostras fixas, em uma ou mais dimensões, são diferentes de deformações ocorridas em espécimes que são livres para se deformar.

DAVIDSON³⁰, em 1998, dissertou em um simpósio sobre vários aspectos relacionados com o controle das tensões causadas pela contração de polimerização. Desta forma, relatou-se que, quanto maior for a rigidez do material maiores serão as tensões; e, se exceder a força adesiva ou coesiva dos materiais, estes vão se fraturar. Afirmou que o escoamento das tensões é limitado e ocorre principalmente durante a fase pré-gel da reação de polimerização. Quanto mais prolongada for esta fase mais a resina conseguirá se adaptar à contração. Ainda descreveu que os compósitos de micropartículas possuem uma performance melhor do que os compósitos híbridos, quando se trata de selamento marginal, ressaltando neste aspecto, a boa função dos cimentos de ionômero de vidro modificado por resina e dos compômeros pelo fato de apresentarem um baixo módulo de elasticidade.

Também, participando deste mesmo simpósio, **SUH**¹⁰² teceu comentários sobre a contração de polimerização das resinas compostas. Desta forma, fez um apanhado sobre o fator de configuração afirmando que quando existe uma união com três ou cinco superfícies, apenas uma permanecerá livre. Nesta situação, não haverá escoamento significativo para compensar a contração de polimerização, resultando em um estresse residual (Figura n. 4).

Figura 4- Relação de alívio das tensões com o fator de configuração Suh¹⁰², 1998

Baseado na expressão que as tensões de contração são diretamente proporcionais ao coeficiente linear de contração e ao módulo de elasticidade, o autor citou em seus dados, os quais foram obtidos a partir do estudo dos substratos dentários em função do módulo de elasticidade, que existe a formação de rachaduras em esmalte das cavidades restauradas com resina composta, as quais se estendem até a junção amelodentinária e quando a união foi em dentina, não foram observadas tais trincas ou perda de união. Nesse sentido, foi concluído que as forças de união da atual geração de

adesivos à dentina são resistentes o suficiente para suportarem as tensões causadas pela contração de polimerização, mas a atual geração dos compósitos dentários causa trincas em esmalte entre as linhas de direção dos prismas de esmalte devido ao seu alto módulo de elasticidade (Figura n.5).

Figura 5- Fraturas em esmalte. Suh¹⁰², 1998

Em função do que foi sugerido por Lutz et al.⁷⁵, os quais reportaram que a orientação dos vetores de contração de polimerização das resinas compostas é em direção à fonte de luz, **VERLUIS; TANTBIROJN; DOUGLAS**¹¹², em 1998, utilizaram o elemento finito para determinar a direção de contração de compósitos fotopolimerizáveis e quimicamente ativados. Para tal, medidas da contração, da profundidade de polimerização, da intensidade de luz foram obtidas, assim como se determinou a fase pré e pós-gel, para que um modelo virtual fosse criado. Os resultados obtidos mostraram que a direção da contração não foi significativamente afetada pela orientação da fonte de luz, porém bastante influenciada pela união da restauração ao dente e pela superfície livre. Assim, o padrão dos vetores de contração obtidos pelas resinas fotoativadas e quimicamente ativadas foram semelhantes. Concluíram que as resinas não contraem em direção à fonte de luz e, que a contração é predominantemente determinada pela forma da cavidade e qualidade de união.

De forma a estudar a distribuição das tensões internas em restaurações de resina composta, **KINOMOTO; TORII**⁶⁵, em 1998, demonstraram que a fotoelasticidade pode ter uma importante aplicabilidade no estudo dos fatores envolvidos na contração de polimerização de materiais à base de resina. Uma vantagem frente ao método que utiliza o tensilômetro é que a partir da análise por fotoelasticidade pode-se determinar as tensões em todas as paredes de uma cavidade, pois sabe-se que as tensões de contração próximas à margem é

bem diferente das ocorridas no assoalho da cavidade. Afirmaram que a análise fotoelástica das tensões é uma medida visual baseada nas propriedades de certos materiais transparentes (resina epóxica), exibindo franjas quando sob tensão e em um campo de luz polarizada. Assim, esse trabalho teve o objetivo de determinar a distribuição das tensões em restaurações de resina composta resultante da contração de polimerização. O material fotoelástico foi a própria resina restauradora, porém na cor transparente (Palfique Clear). Para análise, foram confeccionadas em moldes de resina compostas, cavidades em forma de caixa (5 X 2 X 2 em profundidade). Realizou-se um condicionamento ácido por 30s (efeito de limpeza), aplicação do adesivo e inserção da resina transparente. Após 30 minutos de armazenamento em água a 37°C, uma secção de 2mm foi obtida pelo corte perpendicular do conjunto molde/resina transparente. Em seguida, o espécime foi polido com óxido de alumínio com granulometria de 0,3µm e, depois avaliados sob microscópio de luz polarizada. Diante das observações, pôde-se verificar que uma maior concentração de tensões próximas ao ângulo interno e menor próximo ao cavo-superficial. Uma possível explicação seria pelo escoamento da resina para às superfícies livres, reduzindo o acúmulo de tensões no cavo-superficial. Assim, percebeu-se claramente que não existe um padrão uniforme de distribuição de tensões em uma cavidade. Considerando que o módulo elástico do molde é mais baixo que o da dentina, as tensões geradas em condições clínicas reais, segundo os autores, pode ser mais preocupante do que quando se compara com os resultados deste estudo.

Em função da grande discussão na literatura, sobre os benefícios em se polimerizar gradualmente, **KORAN; KÜRSCHNER**⁶⁶, em 1998, examinaram o efeito da polimerização em duas etapas (baixa e alta intensidade) na dureza de superfície, na adesão, na contração, viscosidade e na concentração de monômeros residuais. Para cada teste a resina Pertac foi utilizada. Quanto aos resultados encontrados foi verificado que este tipo de polimerização (gradual) não afeta a contração, dureza e a quantidade de monômeros residuais, quando comparada com a polimerização convencional. Para o teste de adesão (*push-out*), a polimerização em duas etapas obteve melhores resultados do que a convencional, dando suporte a teoria de que o material pode escoar durante o início de uma reação mais lenta de polimerização. Isto foi demonstrado pelo

teste da mensuração da viscosidade, em que a resina polimerizada gradualmente apresentou menor viscosidade do que a polimerizada convencionalmente. Concluíram que a técnica de polimerização gradual proporciona boas propriedades, assim como melhora a adaptação marginal em função do escoamento do material durante a polimerização.

Em 1999, **SUH**¹⁰³ discorreu sobre os fatores envolvidos no entendimento e controle do efeito das tensões de contração de polimerização em restaurações com resina composta. Afirmou que a contração é uma propriedade química inerente e associada à polimerização das resinas compostas. Quanto às fases da contração, explicou que até o ponto gel a resina desenvolve uma certa rigidez, porém ainda é capaz de aliviar as tensões pelo escoamento molecular. Já, além deste ponto ocorrerá a contração pós-gel, resultando no acúmulo de tensões clinicamente significantes. Demonstrou que as resinas quimicamente ativadas apresentam um estágio pré-gel mais evidente do que as fotopolimerizáveis, sendo que a cinética de polimerização, neste caso, deve ser considerada juntamente com a contração e o módulo de elasticidade. Relatou que o fato de uma resina apresentar baixa contração de polimerização, não significa necessariamente que produzirá baixas tensões, pois a tentativa de se acrescentar mais carga inorgânica pode aumentar o módulo de elasticidade do material, anulando-se o efeito da redução da contração. Quanto às técnicas de polimerização, apresentou alguns resultados demonstrando uma superioridade da *pulse delay*, em termos da geração de menores tensões de contração. Dentro das novas perspectivas, chamou a atenção sobre a importância em se conhecer a energia mínima necessária para se alcançar uma polimerização adequada. Assim, deve ser necessária a descrição deste valor na embalagem do produto, como por exemplo, $10\text{J}/\text{cm}^2$, a qual corresponderia à $10.000\text{ mJ}/\text{cm}^2$ e, com $500\text{mW}/\text{cm}^2 \times 20\text{s}$ ou $250\text{mW}/\text{cm}^2 \times 40\text{s}$, promoveria-se uma polimerização adequada. Finalizando, também, foi relatado sobre a necessidade de se descrever o tipo de fotoiniciador nas embalagens dos produtos, pois os novos aparelhos emitem luz em uma faixa mais estreita em termos de comprimento de onda.

Com o objetivo de verificar se a melhora ocorrida na adaptação marginal de restaurações de resina composta em cavidades classe II é realmente decorrente do direcionamento da polimerização utilizando a técnica das três

posições, **LÖSCHE**⁷³, em 1999, investigou se a redução da intensidade de luz pela passagem através da estrutura dentária também exerce um papel importante na adaptação marginal. Foram confeccionadas cavidades classe II em 40 molares extraídos com margem gengival em dentina. A resina foi inserida de forma incremental e fotoativada, em dois grupos, por oclusal. Os outros grupos receberam a polimerização pela cunha reflexiva e através da estrutura dentária. Usando fotodetectores padronizou-se em alta e baixa, a intensidade de luz. Assim, nos grupos fotopolimerizados por oclusal e pelas três posições os valores da intensidade foram: baixa intensidade-150mW/cm² nas paredes verticais e 50 mW/cm² na parede gengival; alta intensidade-cervical: 250 mW/cm², terço médio: 400 mW/cm² e oclusal: 500 mW/cm². Após armazenagem por 21 dias, réplicas foram obtidas e analisadas sob MEV. Diante dos resultados, pôde-se verificar que os piores resultados foram observados nos grupos polimerizados com alta intensidade de luz, não importando a técnica de polimerização. Foi concluído que os bons resultados, geralmente observados pelo uso da técnica de polimerização pela estrutura dentária, não deve ser atribuído ao direcionamento da contração para as paredes cavitárias, mas sim à redução na intensidade de luz.

De posse do conhecimento de que o fluxo interno das moléculas, o qual somente pode ocorrer quando a resina composta não alcançou suficiente rigidez, conduz a um melhor selamento marginal em restaurações com resina composta, **KANCA; SUH**⁶⁰, em 1999, estudaram diferentes formas de fotoativação quanto à infiltração marginal e resistência flexural. O protocolo de fotoativação se definiu em: G1- 40 s com 600 mW/cm²; G2- 40 s com 100 mW/cm²; G3- 2s com 300 mW/cm² + 5 minutos de espera + 10s com 600 mW/cm² (*pulse activation*). Assim, cavidades tipo Classe I foram preparadas (6mm de comprimento X 4mm de largura X 4mm de profundidade) e restauradas com a resina Z-100 / One-step. Antes das mesmas serem restauradas conforme o protocolo de fotoativação descrito, uma primeira porção de 2mm foi inserida no fundo da cavidade e fotoativada por 10s com 500 mW/cm². A resina Z-100 foi escolhida pelo fato de apresentar uma maior contração de polimerização do que às semelhantes, tornando possível avaliar se a técnica de fotoativação realmente reduz as tensões provenientes da contração de polimerização. Fatias foram obtidas do conjunto

dente/restauração, após serem imersos em fucsina básica por 24 horas. Os resultados encontrados no teste de tração diametral apresentaram valores semelhantes para os três protocolos de fotoativação (G1- 58,9 MPa; G2- 60,3 MPa; G3- 60,9 MPa). Quanto aos resultados referentes à penetração de corante nas margens de esmalte, foram obtidos os seguintes dados: G1- 75% dos espécimes com infiltração; G2- 46,2% e G3- 2,5% dos espécimes com infiltração. Assim, os autores afirmaram não ser necessário tanta energia para fotoativação de porções de 2mm como os fabricantes indicam e que apesar das resinas fotoativadas apresentarem uma rápida reação de polimerização, a técnica *pulse* consegue reduzir a velocidade da polimerização, aumentando a fase pré-gel e favorecendo assim, a integridade marginal.

Com o lançamento de novas resinas com diferentes monômeros, **WATTS; HINDI**¹¹³, em 1999, avaliaram a contração de polimerização de uma resina com monômero conhecido como multi-acrilato (Solitaire) e três outras resinas com monômeros dimetacrilatos (Charisma, Charisma F e Tetric Ceram). Além disso, em um grupo foi avaliado o efeito da polimerização em duas etapas (*soft-start*- 10s baixa intensidade e 30s em alta intensidade), comparado com a polimerização convencional (40s em alta intensidade). Para medir a contração, foi utilizado o método conhecido como “*bonded disk*”, no qual a deformação é captada por um transdutor (LVDT). Para a técnica de fotoativação gradual, foi verificado que nos primeiros dois segundos a contração foi bastante baixa, porém ao primeiro minuto esta aproximou-se à obtida na técnica convencional (Figura n.6). Fato similar foi observado quando a resina Solitaire (monômeros multifuncionais) foi fotoativada com alta intensidade de luz. Este achado foi atribuído a um fenômeno intrínseco de polimerização gradual com a resina com monômeros multifuncionais.

Figura 6- Gráfico demonstrando o perfil da contração em função do tempo e das técnicas de fotoativação. Watts; Hindi¹¹³, 1999.

Em 1999, **KINOMOTO, et al.**⁶³ examinaram a distribuição das tensões internas de resinas ativadas quimicamente e por luz. Para tal, cavidades Classe I (5mm X 3mm X 2mm de profundidade) foram obtidas em modelos de resina composta tradicional. Assim, uma mesma resina de cor transparente, porém com modos de ativação distintos (química e fotopolimerizável), foi inserida na cavidade. As restaurações foram seccionadas perpendicularmente ao eixo longitudinal das cavidades (2mm de espessura) e, em seguida, examinadas sob microscópio de luz polarizada. Desta maneira, a distribuição das tensões foi analisada fotoelasticamente próximo às paredes da cavidade. Diante dos dados obtidos, foi verificado que a tensão máxima gerada na parede da cavidade foi duas vezes maior para a resina ativada por luz. Concluíram que a velocidade de polimerização parece ser um dos mais importantes fatores contribuintes para a magnitude das tensões geradas em restaurações de resina composta.

Tentando correlacionar o módulo de elasticidade com a contração de polimerização das resinas compostas fluidas e de adesivos com carga, **LABELLA et al.**⁶⁸, em 1999, avaliaram essas propriedades por apresentarem grande potencial na predição do sucesso ou falha da interface adesiva. Assim, relataram que as resinas compostas fluidas geralmente mostraram uma alta contração de polimerização, comparada às resinas tradicionais, enquanto que os adesivos densamente preenchidos com carga apresentaram baixa contração do que os sem carga. Entretanto, as resinas fluidas tiveram valores de módulo elástico de baixo a médio, enquanto que as resinas híbridas os mais altos e as microparticuladas os mais baixos. Já os adesivos com carga mostraram-se mais rígidos do que os convencionais. Assim, afirmaram que o alto valor de contração das resinas fluidas pode indicar a produção de altas tensões na interface adesiva. Foi verificado também que as resinas de micropartículas (ex. Durafill) mostraram-se com uma boa combinação entre baixa contração e baixa rigidez.

Por meio do método de micropermeabilidade, **GRIFFITHS et al.**⁵³, em 1999, compararam diferentes técnicas restauradoras envolvendo materiais

fotoativados e quimicamente ativados. Foram feitas restaurações de amálgama, de resina composta (Z100), polimerizada com baixa e alta densidade de potência e restaurações com resina quimicamente ativada (Adaptic) em cavidades Classe I. O sistema adesivo utilizado foi o Scotchbond MultiPurpose Plus. Em seguida, a câmara pulpar de todas as amostras foi preenchida com rhodamina B, permanecendo por um período de 4 horas. Os espécimes foram seccionados e avaliados sob microscopia óptica confocal. Após a obtenção dos dados, foi observado que a resina Z100 proporcionou significativamente mais infiltração do que o amálgama e a resina química. Não houve diferença entre os grupos polimerizados com alta e baixa intensidade, entretanto, falha coesiva da resina e fendas foram mais freqüentes no grupo polimerizado com alta intensidade de luz. Um fato interessante observado foi a localização das fendas, as quais foram freqüentes nos ângulos da cavidade. Os autores afirmaram que a resina de ativação química se polimeriza lentamente, proporcionando menos tensões de contração de polimerização. Concluíram que a resina quimicamente ativada teve comportamento similar ao amálgama em cavidades profundas.

Com o objetivo de testar a hipótese de que aparelho à base de LEDs produz profundidade de polimerização semelhante à lâmpada halógena, **MILLS; JANDT; ASHWORTH**⁸³, em 1999, avaliaram o grau de polimerização de três resinas compostas fotoativadas com LED (290mW/cm²) e luz halógena (455mW/cm²). Na introdução do trabalho, foi reportado que os aparelhos à base de LEDs apresentam uma vida útil bastante longa (10.000 horas), não requerem filtro, são bastante resistentes à choques ou vibrações e emitem energia luminosa dentro do espectro de absorção da canforaquinona. O aparelho deste estudo foi montado com 25 LEDs, sendo a luz conduzida por uma ponteira à base de polímero. Diante dos resultados, foi verificado que o LED proporcionou uma maior profundidade de polimerização do que a lâmpada halógena. O aumento em cada tipo de resina foi de 0,2mm. Os autores atribuíram estes dados ao fato da energia emitida estar toda concentrada no comprimento de onda ideal para absorção da canforaquinona. Foi relatado que o LED produz baixa densidade de potência, quando comparado com os aparelhos convencionais (halógena), porém com possibilidade de proporcionar

graus de polimerização semelhantes ou maiores aos alcançados com lâmpada halógena.

Neste mesmo ano, **WHITTERS, et al.**¹¹⁵ compararam um aparelho com LEDs com um convencional (luz halógena). Compararam quanto à dureza superficial e contração de polimerização. Os valores de dureza Knoop para amostras polimerizadas por 60s foram semelhantes para os dois aparelhos. Da mesma forma, a contração linear de polimerização foi independente da fonte de luz utilizada. Concluíram que o LED proporciona características, à resina composta, semelhante ao aparelho convencional.

Em 2000, **CONDON; FERRACANE**²⁴ mediram a magnitude das tensões oriundas da contração de polimerização de vários tipos de resinas. Espécimes foram confeccionados a partir de 11 diferentes resinas compostas (micropartículas, híbridas e de ativação química) e avaliados quanto às tensões de contração em uma máquina de teste mecânico. Dentre os materiais estudados, a resina Durafill foi apresentada pelos autores como a resina com menor porcentagem de partículas de carga (38% por volume). Verificaram, diante dos dados obtidos, uma significativa relação entre volume de partículas e aumento nas tensões de contração de polimerização, sendo que a Durafill apresentou menor valor de tensões de contração e a resina Herculite, o maior (57% por volume). Na discussão, atribuíram estes resultados à rigidez dos diferentes materiais, pois, quanto maior o conteúdo inorgânico de uma resina composta, maior será seu módulo de elasticidade e, conseqüentemente, maiores as tensões provenientes da contração de polimerização. Prova disto, foi a exclusão da resina Z100 e P-50 (alta porcentagem de carga) deste estudo, devido aos níveis de tensões serem tão altos a ponto de haver quebra dos corpos-de-prova durante a fase de fotopolimerização. Entretanto, os autores ponderaram os seus resultados no sentido de considerar que resinas com baixo conteúdo inorgânico possuem baixa resistência à fratura e ao desgaste, devendo, desta forma, serem indicadas em áreas com baixas tensões oclusais (Classe V).

Utilizando o método de fotoelasticidade, para determinação das tensões geradas durante a contração das resinas compostas, **KINOMOTO et al.**⁶⁴, em 2000, avaliaram as tensões geradas por resinas fotoativadas e quimicamente ativadas nas paredes da cavidade. Relataram que a magnitude das tensões foi

maior nas resinas fotoativadas do que nas quimicamente ativadas. Este achado foi atribuído a alta velocidade de reação de polimerização das resinas fotoativadas, não tendo assim tempo suficiente para o escoamento da resina. Afirmaram, também, que as resinas fotoativadas não se contraem em direção à fonte de luz, pois grande parte das tensões ocorreu na parte mais profunda da cavidade.

Em 2000, **DAUVILLIER; AARNTS; FEILZER**²⁸, realizaram uma revisão das propriedades dos materiais e das técnicas restauradoras no sentido de dar caminhos para a redução dos efeitos da contração de polimerização das resinas compostas. Relataram que vários são os fatores que influenciam a contração de polimerização, sendo um destes o tamanho molécula monomérica contida na resina composta. Quanto maior o tamanho desta antes da polimerização, menor será a contração. Outro fator citado foi a concentração de carga inorgânica, incluindo partes pré-polimerizadas, dentro da resina composta. Sendo que uma alta porcentagem de carga conduz a uma baixa contração. E por último, foi descrito que o tipo ou a natureza da matriz tem um importante papel na contração. Afirmaram, também, que a maioria da contração ocorre nos estágios iniciais da reação de polimerização, 15 minutos para as resinas quimicamente ativadas e 60 segundos para as fotoativadas (Figura n.7). Assim, problemas associados com a perda da adesão freqüentemente ocorrem durante este estágio inicial de polimerização, ocasionalmente antes de o paciente sair da cadeira do profissional. Ainda, propuseram possibilidades para que o desenvolvimento das tensões de contração seja minimizado. Assim, uma opção seria o desenvolvimento de materiais que não contraem ($< 0,4\%$). Outra possibilidade seria reduzir a velocidade de polimerização das resinas fotoativadas sem diminuir o grau de conversão. Para isto, pode-se modificar quimicamente a resina de várias formas, tais como adicionando agentes retardadores, reduzindo a quantia de fotoiniciadores, ou ainda desenvolvendo novos fotoiniciadores que proporcionasse uma reação lenta de polimerização, porém com alta conversão de monômeros.

Figura 7- Perfil das tensões de contração produzido por uma resina quimicamente ativada (Silar) e uma fotoativada (Silux). Dauvillier; Aarnts; Feilzer,²⁸ 2000.

Utilizando o método de fotoelasticidade, **CLAUS-PETER et al.**²³, em 2000, examinaram a redução das tensões de diferentes resinas compostas fotoativadas em duas etapas (*soft-start*). Para este teste foi utilizada uma placa de resina acrílica transparente de 3mm de espessura, na qual foram feitos orifícios com 5mm de diâmetro. Estes orifícios foram restaurados com vários materiais resinosos como Pertac II, Tetric Ceram, Charisma F, Solitaire, Definite, Dyract e Dyract AP. Todos foram inseridos em volume único e fotopolimerizados em dois protocolos experimentais: convencional- 40s – 700 mW/cm²; *soft start*- 10s - 200 mW/cm² + 30s – 700 mW/cm². O estudo fotoelástico foi realizado imediatamente após a polimerização, de forma a interpor os espécimes entre um filtro analisador e polarizador sob uma fonte de luz. Utilizou-se também duas placas de ¼ de onda entre o polarizador e o espécime e entre este o analisador, transformando o conjunto em um polariscópio circular. Toda imagem gerada em função da tensão foi captada em um computador e, assim, determinada a área das franjas pelos pixels. A redução nas tensões de contração com a polimerização gradual para o Pertac II foi de 15,5%, para Tetric Ceram de 14,5%, para Solitaire de 8,1%, para o Dyract AP de 6,5% e para o Definite de 4,7%. Os autores afirmaram que o ponto gel em resinas polimerizadas convencionalmente inicia após 1,5 - 2 segundos. Discutiram também, sobre os resultados desfavoráveis vistos em algumas resinas quando fotopolimerizadas gradualmente, afirmando que este fato poderia estar relacionado com a quantidade de fotoiniciadores presentes

no material. Assim, se a resina possuir uma alta concentração de fotoiniciadores, mesmo sendo fotoativada em baixa intensidade, a reação se processará rapidamente não permitindo o fluxo da mesma. Concluíram que o método gradual de polimerização reduz as tensões de contração, representando-se importante nos primeiros segundos após a fotoativação, pois a formação da união adesiva está em progresso neste momento.

Buscando avaliar as técnicas de polimerização, **BOUSCHLICHER; RUEGGEBERG; BOYER**¹¹, em 2000, determinaram a força de contração gerada por uma resina composta fotoativada por quatro métodos: G1- 40s x 800mW/cm², G2- 10s x 100 mW/cm² + 30s x 800 mW/cm²; G3- 60s x 800 mW/cm² e G4- 10s x 100 mW/cm² + 50s x 800 mW/cm². As medidas foram efetuadas em uma máquina universal de testes. Os dados obtidos foram: G1- 177 N; G2- 172 N; G3- 213 N e G4- 197 N. Não foram observadas diferenças estatísticas entre G1 e G2, assim como entre G3 e G4. Porém, G2 proporcionou menos força de contração do que G3. Admitiram que a razão desta similaridade entre os grupos pode ser devido a fatores ligados à metodologia, pois como o espécime apresentava um diâmetro de 5mm foi necessário realizar a polimerização em dois lados do mesmo. Este detalhe pode ter reduzido o efeito da baixa intensidade inicial em prolongar a fase pré-gel da resina, o que seria distinto do que ocorre na clínica. Foi verificado, nos grupos de polimerização gradual, que nos 10s iniciais não houve geração de forças, que se relaciona, segundo os autores, à baixa quantidade de energia aplicada, indicando a presença da fase pré-gel da resina composta. Diante destes resultados, aconselharam que um tempo intermediário ou uma intensidade progressiva pode resultar em baixa produção de forças de contração, permitindo um escoamento das tensões pelo fluxo. Outra alternativa seria reduzir a quantidade de fotoiniciadores e de agentes redutores.

Neste mesmo ano, **BOUSCHLICHER; RUEGGEBERG**¹⁰ avaliaram o efeito da técnica *ramp* quanto à geração de tensões de contração. Estes valores foram determinados pela colocação da resina Pertac II entre dois cilindros de aço, os quais estavam montados em uma máquina de ensaios universal. Quatro técnicas de polimerização foram estudadas: convencional- 40s x 800mW/cm²; exponencial- 150mW/cm² aumentando para 800mW/cm² em 15s + 30s x 800mW/cm²; dois passos- 10s x 150 mW/cm² + 30s x 800 mW/cm²

e experimental- 80s x 400 mW/cm². Quanto aos resultados foi verificado menores valores para a técnica exponencial, 20,4 N, enquanto que para a técnica experimental foi de 25,8 N, 27,4 N para a técnica de dois passos e 30,5 para a convencional. Afirmaram que a manipulação da intensidade inicial reduz a formação de radicais livres, reduzindo a razão de conversão e permitindo assim, um maior fluxo para resina. Porém, esta técnica concilia a obtenção de um grau de conversão adequado com uma baixa produção de forças de contração de polimerização.

Em 2000, **CHOI; CONDON; FERRACANE**²¹ comentaram que a contração de polimerização das resinas compostas é inevitável e ocorre em função da mudança dos espaços tipo Van der Waals entre os monômeros para espaços menores tipo covalente. Relataram, também, que existem dois caminhos para reduzir a contração e seus efeitos. O primeiro, envolve o controle dos componentes da própria resina, como: quantidade e tipo de matriz orgânica, concentração de partículas de carga, a química da polimerização, o nível de fotoiniciadores e a adição de micropartículas. A segunda abordagem refere-se à modificação da técnica de aplicação do material, como: utilização da técnica tipo sanduíche com cimento ionomérico, uso de restaurações tipo *inlay*, controle da reação de polimerização pela alteração na energia luminosa e o uso de base com menor módulo de elasticidade. Baseado nestes aspectos, os autores se propuseram a avaliar outra técnica, que visa a redução da contração, a qual se define no aumento da espessura de adesivo para que este absorva as tensões de contração. Assim, foi medida a tensão em uma máquina de ensaios universal em função de quatro espessuras de adesivo, simulando fator C=2 e C=3. Analisaram, também, a microinfiltração em função de duas espessuras de adesivo e de duas cavidades com fator C distintos (C=2 e C=3). Verificaram que houve uma queda exponencial das tensões conforme havia o aumento na espessura do adesivo. Da mesma forma, os níveis de microinfiltração foram significativamente menores nos grupos que receberam duas camadas de adesivo. Em relação ao fator C, somente no teste mecânico é que foi verificada influência significativa do mesmo, onde a condição com maior fator C produziu maiores tensões de contração.

Sabendo das conseqüências de métodos de polimerização com alta intensidade de luz, **DENNISON, et al.**³⁷, em 2000, investigaram o efeito da

aplicação seqüencial de várias intensidades de luz na contração de polimerização de duas resinas compostas, híbrida e uma de micropartículas. A contração foi determinada linearmente com a utilização de um linômetro em quatro grupos: 1- 100% de intensidade de luz, 40s; 2- 25%, 40s; 3- 25%, 20s + 50%, 10s + 100%, 10s; 4- 25%, 10s + 50%, 10s + 100%, 20s. Determinou-se também a dureza nestas condições. Assim, verificaram que o grupo 1 proporcionou os maiores valores de contração de polimerização e que a resina de micropartículas (Silux) produziu menor contração do que a híbrida (TPH). Isto foi explicado pelo fato da Silux apresentar partículas pré-polimerizadas na sua composição, reduzindo a quantia de matriz orgânica. Quanto aos valores de dureza, foi observado, em geral, que as propriedades mecânicas não foram afetadas quando foi realizada uma polimerização final com alta intensidade nos grupos de polimerização seqüencial. Porém, os maiores valores foram alcançados quando minimamente 20s de alta intensidade foram aplicados na última seqüência, aliando-se também com uma baixa contração de polimerização.

Com o intuito de verificar se a técnica de polimerização gradual promove uma melhora no selamento marginal de restaurações com materiais resinosos, **FRIEDL, et al.**⁴⁸, em 2000, avaliaram, por microscopia eletrônica de varredura, três sistemas restauradores (resina Spectrum/Prime & Bond 2.1; Dyract/Prime & Bond 2.1 e Hytac/OSB Primer), sendo fotoativados por dois métodos: convencional- 40s x 800mW/cm²; gradual- 10s x 150mW/cm² + 30s x 800mW/cm². Foi verificado que a técnica de polimerização gradual não produziu efeito positivo na adaptação entre material resinoso e dente para os três materiais testados. Os autores creditaram estes achados à possibilidade da polimerização inicial com 150mW/cm² ser insuficiente para sensibilizar os fotoiniciadores e, assim quando a segunda parte de energia foi aplicada, encontrou-se um material muito pouco polimerizado, igualando-se desta forma com a técnica convencional.

Neste mesmo ano, **YAP, et al.**¹¹⁶ estudaram a contração de polimerização de uma resina híbrida (TPH) e uma resina modificada por poliácidos (Dyract AP). Extensômetros elétricos foram utilizados para determinar os valores de contração em ar e água. Verificaram que os dois materiais contraíram mais durante a reação inicial de polimerização. Essa taxa

de contração no primeiro minuto foi descrita como clinicamente significativa, pois a adesão entre adesivo e dente, neste momento, encontra-se em maturação. Afirmaram que quando espécimes de resina são armazenados em água, a contração é maior após uma hora da fotoativação. Após um dia de armazenamento em água, foi verificado o efeito significativo da expansão higroscópica dos dois materiais estudados.

Como estudos prévios têm demonstrado que o LED apresenta um grande potencial para fotopolimerização de materiais resinosos, sem os inconvenientes da lâmpada halógena, **STAHL, et al.**¹⁰¹, em 2000, avaliaram a resistência flexural de resinas compostas fotoativadas com LED (350mW/cm²) e luz halógena (755mW/cm²). O aparelho de LED utilizado neste estudo foi montado com 27 LEDs azuis. Frente aos dados encontrados, foi observado que os dois aparelhos proporcionaram valores de resistência flexural acima do requerido pela ISSO 4049 e semelhantes entre si. Afirmaram que o LED é uma alternativa satisfatória para polimerização de resinas compostas. Os autores tentaram explicar os resultados baseando-se no espectro de luz emitido pelos dois aparelhos, uma vez que o LED emitiu 2,2 vezes menos intensidade de luz do que a luz halógena. Assim, observou-se que a energia emitida pelo LED é duas vezes maior que a halógena no espectro situado entre 450 - 470nm. Desta forma, concluíram que o LED poderia ser de grande utilidade para fotoativação de materiais resinosos.

Utilizando o mesmo tipo de montagem do aparelho à base de LED do trabalho anterior, **JANDT, et al.**⁵⁹, em 2000, também avaliaram a efetividade deste tipo de fonte de luz a partir da análise do grau de polimerização e da resistência à compressão. Para isto a resina TPH (A2 e A4) foi fotoativada por 40s pela luz halógena e pelo LED. O método utilizado foi um denominado de penetrômetro. Verificaram que a luz halógena proporcionou maior grau de polimerização, cerca de 20% a mais, porém ambas as fontes de luz polimerizaram a quantidade mínima exigida pela ISSO 4049 (2mm). Por outro lado, não foram verificadas diferenças entre o LED e a luz convencional quanto a resistência à compressão. Os autores confirmam o potencial clínico para esta nova tecnologia, uma vez que o LED produz uma energia dita eficiente quanto ao estreita faixa de comprimento de onda emitida.

Em resposta a uma pergunta do editor de uma revista sobre LED, **BOUSCHLICHER**⁹, em 2001, relatou que essa tecnologia apresenta várias vantagens, como emissão de energia dentro do espectro de absorção da canforaquinona, baixa emissão de calor (não emite infravermelho), longa vida clínica, ausência de filtros e altamente resistente ao choque, uma vez que não existe filamento. Reportou que a luz emitida é em função da passagem eletrônica entre diferentes faixas de energia, envolvendo uma recombinação de pares de elétrons. O LED geralmente utilizado é à base de Nitrogênio e Gálio. O autor encerra o estudo alertando para o fato de materiais resinosos que não possuem a canforaquinona como fotoiniciador, o que poderia comprometer as propriedades do material.

Como geralmente é sugerido que com aumento da concentração de partículas de carga, a contração de polimerização é reduzida, **AW; NICHOLLS**⁵, em 2001, avaliaram a contração linear de polimerização de seis resinas “condensáveis” (Alert, Ariston, P60, Prodigy, Solitaire e Surefil) e de duas híbridas (TPH e Z100). O método envolveu a utilização de uma matriz com duas base internas rolantes, entre as quais a resina era aplicada. Para determinar a contração, uma medida inicial, por meio de um microscópio óptico, era registrada. Após a polimerização, outra medida era obtida e, assim a contração linear determinada. Os resultados indicaram que a resina Alert, SureFil e P60 tiveram menor contração do que as resinas Solitaire, Ariston, Prodigy, Z100 e TPH. Da mesma forma, algumas resinas “condensáveis” não diferiram das híbridas. Assim, em geral foi verificado que quanto menor a porcentagem de carga por volume, maior a contração. Isto foi explicado pelo fato das partículas serem sólidos que não contraem, entretanto a matriz orgânica é um fluido que contrai para se tornar um sólido. Segundo os autores, um outro fator que tem grande relação com a contração das resinas compostas é a constituição química da matriz. Um exemplo é a presença do diluente TEGDMA, o qual é um monômero com baixo peso molecular, proporcionando um aumento no número de ligações covalentes e, com isso aumentando a contração de polimerização. Assim, sugeriram a utilização de monômeros com maior peso molecular e estudos envolvendo estes aspectos.

Com o objetivo de melhor entender os fatores envolvidos no comportamento das resinas compostas quanto às tensões produzidas e

aliviadas, **MIGUEL ; DE LA MACORRA**⁸¹, em 2001, teceram duras críticas aos resultados obtidos por FEILZER, et al. (1987), quanto ao fator C. Para substantiar suas opiniões, nove resinas compostas ativadas quimicamente, dois cimentos resinosos e dois cimentos ionoméricos foram estudados quanto a geração de tensões. Estas tensões foram medidas em uma máquina de ensaios universal em diferentes valores de fator C. Diante dos resultados obtidos, os autores reafirmaram que a teoria do fator C teve importante valor conceitual na época, porém este deveria ser revisado, pois não oferece valores precisos. Os resultados encontrados mostraram uma relação inversa, ou seja, maior fator C, menor a geração de tensões. Os três fatores que foram criticados no trabalho de Feilzer, et al.⁴⁰, envolvem a desconsideração sobre a rigidez da máquina de ensaios, sobre a influência do volume e quanto as características de cada material. Os autores ainda concordam com o fato de que a quantidade de superfícies aderida em relação às livres afeta as tensões, porém este não é o único fator responsável. Além disso, sugeriram que a influência dessas superfícies não é a mesma, tendo às livres maior efeito do que as aderidas. Reafirmaram também que o volume e as características do material possuem uma forte influência na magnitude de tensões produzidas.

Baseado na teoria que diz que em um dado fator C, os materiais com menor rigidez e com menor velocidade de reação de polimerização apresentam uma melhor habilidade em escoar durante as fases iniciais da reação, **CHEN, et al.**²⁰, em 2001, avaliaram as tensões de contração de várias resinas “condensáveis”, uma vez que possuem alta concentração de carga. As tensões foram determinadas em uma máquina de testes adaptada para este tipo de análise. As resinas estudadas foram: Alert, Surefil, Solitaire, Solitaire 2, Definite e uma híbrida Tetric Ceram. Os resultados mostraram que as resinas Alert e Definite demonstraram os mais altos índices de tensões, enquanto que a Tetric Ceram os mais baixos. Um aspecto interessante ocorreu com a Solitaire, a qual demonstrou uma fase pré-gel mais evidente antes do registro das tensões. Reportaram que estes dados confirmaram a influência do módulo de elasticidade na geração de tensões, uma vez que a resina Alert apresenta uma alta concentração de carga e uma alta rigidez. Comparando a Surefil com a Alert, a primeira possui um menor módulo elástico e com isso exibiu menores valores de tensão de contração de polimerização. Assim, concluíram que

algumas resinas “condensáveis” são capazes de proporcionar baixas tensões de contração, porém mais que a híbrida Tetric Ceram.

No mesmo ano, **YOSHIKAWA; BURROW; TAGAMI**¹¹⁹ estudaram se os conceitos de polimerização em duas etapas apresentam realmente influência na obtenção de restaurações com melhores selamentos marginais. Para tal, avaliaram em função de cinco técnicas de polimerização (T1- 60s, 600mW/cm²; T2- 10s, 270 mW/cm² + 5s de intervalo + 50s, 600 mW/cm²; T3- 10s, 20 mW/cm² + 5s de intervalo + 50s, 600 mW/cm²; T4- 30s, 270 mW/cm² + 5s de intervalo + 30s, 600 mW/cm²; T5- 30s, 20 mW/cm² + 5s de intervalo + 30s, 600 mW/cm²) o selamento marginal pela análise da microinfiltração, a contração de polimerização da resina Photo Clearfil, e a dureza. Diante dos resultados encontrados, foi verificado que a T2 proporcionou o melhor selamento e adaptação marginal, sendo que as restaurações polimerizadas pela técnica convencional (T1) apresentaram os piores índices de qualidade das margens. Este grupo apresentou valores de contração correspondentes à metade dos obtidos com a polimerização convencional. Da mesma forma, o grupo T2 proporcionou valores de dureza semelhantes ao T1 após 60 segundos.

Com a proposta de determinar o efeito da técnica de polimerização pulso tardio, na formação de fendas marginais em margens de dentina, **SAHAFI; PEUTZFELDT; ASMUSSEN**⁹², em 2001, avaliaram, por meio de microscopia óptica, restaurações utilizando a resina Z100 e o sistema adesivo Prime & Bond NT. Oito grupos experimentais foram determinados conforme a técnica de polimerização utilizada: A- controle, 10s, 750mW/cm²; B, C e D- 1s, 2s e 3s x 425 mW/cm² (respectivamente) + 5 minutos de intervalo + 10s, 750 mW/cm²; E, F, G e H- 2s x 425 mW/cm² + ½, 1, 3 ou 7 minutos de intervalo (respectivamente) + 10s, 750 mW/cm². Após a mensuração das fendas formadas, foi verificado que os grupos B e D (*pulse delay*) apresentaram significativamente melhor adaptação marginal, sendo que não existiram diferenças significantes entre os mesmos (B e D). Fato interessante encontrado, foi que no grupo com tempo de intervalo de ½ minuto os resultados foram semelhantes ao grupo controle. Entretanto, nos outros grupos C, F e H houve uma significativa redução na formação de fendas. Assim, atribuíram estes resultados à teoria existente de aumento da fase pré-gel da resina para alívio das tensões de contração de polimerização. Com tempo de

intervalo muito reduzido, inferior a 1 minuto, não se conseguiu alcançar uma boa condição que permita o fluxo da resina.

Baseado no conhecimento de que o desenvolvimento do módulo de elasticidade durante a fotopolimerização de resinas compostas tem grande relação com a geração de deformações e tensões de contração, **SAKAGUCHI; FERRACANE⁹⁷**, em 2001, estudaram o efeito da potência de luz emitida no desenvolvimento do módulo de elasticidade de uma resina experimental fotoativada. Verificaram que o desenvolvimento do módulo elástico e seu valor final foram dependentes da potência de luz aplicada. Resinas polimerizadas com energias semelhantes, usando tempo reduzido com alta potência ou tempo aumentado com baixa potência, produziram valores de módulo elástico semelhantes. Uma relação importante foi encontrada neste estudo, pois 29% a menos de potência de luz não afetou o grau de conversão na base do espécime (1,7mm), entretanto esta redução correspondeu a uma queda de 43% na deformação por contração. Assim, valores de módulos elásticos alcançados com baixa potência de luz podem ser compensados pelo aumento no tempo de exposição, de forma a determinar a mesma energia de luz. Os autores afirmaram que 160mW/cm^2 promoveu módulo de elasticidade equivalente à altas potências de luz utilizadas (400 e 600 mW/cm^2).

Nesse mesmo ano, **YAP; NG; SIOW¹¹⁷** investigaram a influência da polimerização gradual na contração de polimerização. Para medir a contração, o método do extensômetro elétrico foi utilizado com as seguintes características do sensor: 2mm de comprimento, 120 Ω de resistência elétrica e com fator *gauge* 2,00. Três técnicas de fotoativação foram utilizadas, convencional- 40s x 540 mW/cm^2 ; gradual- 24s x 289 mW/cm^2 + 12s x 374 mW/cm^2 + 12s x 540 mW/cm^2 ; baixa intensidade- 80s x 374 mW/cm^2 . Foi observado que embora a modulação da intensidade de luz na técnica gradual produziu menos contração de polimerização comparada à convencional, não foram observadas diferenças significantes entre as mesmas. Relataram acreditar que técnicas de modulação de intensidade apresentam diferenças na contração somente durante a reação de polimerização.

YOSHIKAWA; BURROW; TAGAMI¹²⁰, em 2001, avaliaram o selamento e a adaptação marginal de restaurações de resina em dois tipos de cavidades com fator C distintos (2,3 e 3). Três sistemas adesivos, Clearfil Photo Bond, Clearfil Liner Bond 2 e Super-Bond D Liner, e uma resina híbrida, Photo Clearfil Bright, foram utilizados. Avaliou-se então, o grau de microinfiltração e a formação de fendas marginais em função de duas técnicas de fotoativação (convencional-60s x 600mW/cm² e gradual- 10s x 270mW/cm² + 5s de intervalo + 50s x 600mW/cm²). Foi verificado um aumento na formação de fendas marginais quando o fator C aumentou de 2,3 para 3, exceto com o sistema adesivo Super Bond D Liner, o qual foi superior aos demais e proporcionou selamento total quando fotoativado de forma gradual (FC=2,3). Os autores creditaram esses resultados ao seu comportamento elástico e por ser ativado quimicamente, uma vez que possui larga fase “borrachóide”, permitindo a absorção das tensões provindas da contração de polimerização. De forma geral, houve uma significativa melhora no selamento marginal quando foi realizada a técnica gradual de polimerização quando comparada à convencional.

FRENTZEN; FÖLL; BRAUN⁴⁷, em 2001, examinaram a viabilidade da utilização do LED por meio da avaliação da profundidade de polimerização. Amostras de resina composta foram confeccionadas em uma matriz de aço e fotoativadas por 1 e 3 minutos com LED (110mW/cm²) e luz halógena (750mW/cm²). O espectro da luz dos dois aparelhos foi também determinado, o qual foi bastante estreito para o LED, com o valor do pico máximo se aproximando a 468nm, enquanto que a lâmpada halógena produziu uma energia por volta de 500nm. O aparelho à base de LED proporcionou maiores valores de profundidade de polimerização em todas condições estudadas (6 cores diferentes). Os autores afirmaram sobre a necessidade do desenvolvimento e utilização de aparelhos à base de LED.

Com o mesmo objetivo de viabilizar a utilização do LED para fotopolimerização de materiais resinosos, **KURACHI, et al.**⁶⁷, neste mesmo ano, compararam, a partir da mensuração da dureza, esta nova tecnologia para fotopolimerização com a luz convencional (halógena). Assim, vários tempos de exposição (20, 40, 60, 120 e 180 s) com o LED (79mW/cm² – com seis LEDs)

foram utilizados para comparar com a luz halógena em 40s. Diante das observações realizadas, foi verificado que diodos podem polimerizar uma determinada massa de resina, porém um tempo maior de exposição é requerido em função da baixa intensidade de luz. Foi determinado que um tempo de 100s foi necessário para que o LED utilizado equiparasse com o valor de 105 unidades de dureza Vickers, alcançado pela luz halógena. Apesar desses dados, os autores relataram que 80% da energia emitida pelo aparelho convencional está fora da faixa necessária para ativação da canforaquinona, enquanto que 100% da luz emitida pelo LED está dentro desta faixa. Nesse sentido, foi verificado mesmo com baixa intensidade, o LED pode ser viável, uma vez que emite energia dentro do comprimento de onda ideal para absorção da canforaquinona, dentre outras vantagens, como baixa emissão de calor, ausência de raios infravermelhos, longa vida útil e ausência de filtros.

No ano seguinte, **NOMURA, et al.**⁸⁴ utilizaram o método da análise térmica e dureza para avaliar as características de amostras de resinas compostas com um aparelho à base de LED. O aparelho de LED utilizado emitia 110mW/cm^2 , enquanto que os convencionais emitiam, 490 mW/cm^2 e 416 mW/cm^2 . Todas as amostras de uma resina experimental foram fotoativadas por 40s. Para os dois métodos de avaliação, as amostras fotoativadas com LED apresentaram características superiores às polimerizadas com lâmpada halógena. A explicação destes resultados foi creditada novamente à eficiência da energia emitida dentro de um comprimento de onda específico e coincidente com o espectro de absorção da canforaquinona. Desta forma, concluíram que as resinas compostas fotoativadas com LED tiveram maior grau de polimerização (espécimes de 1,5mm de espessura) e foram mais estáveis tridimensionalmente do que as fotoativadas com luz halógena.

Dentre as várias maneiras de se reduzir a contração de polimerização das resinas compostas, **BRAGA; FERRACANE**¹⁴, em 2002, propuseram aumentar a concentração do inibidor (butilato de hidroxitolueno) a fim de reduzir a velocidade da reação de polimerização. Neste propósito avaliaram o grau de conversão e a geração de tensões provenientes da contração de polimerização de uma resina experimental com diferentes concentrações de

substância inibidora, 0,05, 0,2, 0,5 e 1,0 % em peso. Quanto aos valores obtidos da tensão de contração, foi verificado uma redução de 29% de tensões quando o inibidor foi aumentado de 0,5 a 1,0 %, no entanto, entre 0,05, 0,2 e 0,5 não foram observadas diferenças significantes. O grau de conversão não foi comprometido quando a concentração de 1% foi utilizada. Segundo os autores, cada molécula inibidora pode inativar temporariamente duas ou mais cadeias poliméricas, levando a uma reação lenta inicial até que o inibidor seja completamente consumido. Assim, este fato se torna importante, pois aumenta a fase pré-gel da resina composta, proporcionando um maior alívio das tensões iniciais de contração de polimerização. Finalizaram afirmando que estes dados são importantes para os fabricantes, pois podem representar um caminho efetivo para redução das forças de contração sem comprometer às propriedades físicas finais.

Para avaliar diferentes técnicas de fotopolimerização, **OBICI, et al.**⁸⁵, em 2002, mediram a contração de polimerização de vários tipos de resinas. O método utilizado consistiu na mensuração de fendas em matrizes circulares em função de três técnicas de fotoativação: T1 convencional- 40s, 500mW/cm²; T2 gradual- 10s, 150mW/cm² + 30s, 500mW/cm²; T3 intermitente- 60s, 450mW/cm² (½ segundo com luz e ½ sem luz). As fendas foram medidas em um microscópio eletrônico de pressão variada e determinadas em micrômetros. Os dados demonstraram que a técnica convencional proporcionou maiores fendas marginais (15,88µm), enquanto que as duas outras técnicas os menores valores (T2- 13,26µm e T3- 12,79µm). Não foram observadas diferenças entre as resinas Alert (12,02µm), Surefil (11,86µm), Z250 (10,81µm) e P60 (10,17µm), as quais proporcionaram menores valores de fendas do que as resinas Z100 (15,84µm), Definite (14,06µm) e flow-it (23,09µm). Afirmaram que as técnicas de fotoativação gradual foram superiores em função da redução da velocidade da reação de polimerização, favorecendo ao fluxo das moléculas e, assim, reduzindo a contração de polimerização.

Buscando investigar o efeito da técnica do pulso tardio, na adaptação marginal de restaurações com compômeros, **LUO, et al.**⁷⁴, em 2002, avaliaram a formação de fendas marginais em cavidades cilíndricas. As técnicas de

polimerização utilizadas foram: convencional- 40s, 400mW/cm² e pulso tardio- 4s, 100mW/cm² + 3 minutos de intervalo + 39s, 400mW/cm². Réplicas em resina epóxica foram obtidas do conjunto dente-restauração e analisadas sob microscópio eletrônico de varredura. Diante das observações realizadas, trincas nas margens do esmalte foram freqüentes nos grupos fotoativados com a técnica convencional, enquanto que com a técnica pulso fraturas coesivas não foram observadas. Nas margens em dentina, a técnica pulso foi significativamente superior à convencional, proporcionando margens perfeitas em mais de 90% da extensão total. Os autores creditaram esse bom desempenho à redução da velocidade da reação de polimerização nas fases iniciais. Assim, afirmaram que a técnica pulso tardio possui um grande potencial para ser aplicada clinicamente.

Como existem poucos estudos que avaliam a contração de polimerização em função de diferentes técnicas de fotoativação, **YAP; SOH; SLOW**¹¹⁸, em 2002, buscaram determinar a contração linear de uma resina híbrida (Z100), a partir da polimerização com a técnica pulso tardio, *soft start* e convencional. Foi utilizado o método com extensômetro elétrico, o qual foi montado com as seguintes características do sensor: 2mm de comprimento, 120 Ω de resistência elétrica e com fator *gauge* 2,00. Seis técnicas de fotoativação foram utilizadas, convencional- 40s, 400 mW/cm²; Pulso I- 3s, 100 mW/cm² + 3 minutos de intervalo + 30s, 500 mW/cm²; Pulso II- 20s, 200 mW/cm² + 3 minutos de intervalo + 30s, 500 mW/cm²; Gradual- 10s, 200 mW/cm² + 30s, 600 mW/cm²; Gradual Pulso I- 10s, 400 mW/cm² + 10 segundos de intervalo + 10s, 400 mW/cm² + 10 segundos de intervalo + 20s, 400 mW/cm²; Gradual Pulso II- 20s, 400 mW/cm² + 20 segundos de intervalo + 20s, 400 mW/cm². Os resultados mostraram que a técnica Pulso I proporcionou os menores valores de contração de polimerização logo após a fotoativação, enquanto que as outras apresentaram valores altos e idênticos. Neste grupo, não foi verificada presença de contração durante o primeiro pulso e após os três minutos de espera. Os autores atribuíram este fato a dois possíveis motivos: o primeiro relacionado à fase pré-gel da resina e o segundo a insuficiente geração de energia necessária para iniciar a reação. Com a polimerização gradual houve uma taxa baixa de contração inicial, porém,

seguiu-se de uma alta contração. Foi afirmado, quanto à esta técnica, que o efeito benéfico da baixa intensidade inicial é anulado pela alta intensidade final. Após dez minutos todos os métodos foram semelhantes. Os autores indicaram que um intervalo de espera entre pulsos de fotoativação pode ser benéfico para compensar o desenvolvimento das forças de contração geradas pelo primeiro pulso de energia.

Utilizando uma máquina de ensaios universal, **LIM, et al.**⁷², neste mesmo ano, verificaram se a técnica pulso tardio realmente reduz as forças de contração de polimerização. As técnicas de fotoativação testadas foram: T1- 60s x 330mW/cm²; T2- 5s x 60mW/cm² + 2 minutos de intervalo + 60s x 330mW/cm². Três diferentes resinas foram testadas: Herculite, Z100 e Heliomolar. Diante dos dados, foi observado que a T2 realmente reduziu as tensões de contração em 26,5%, 19% e 29,7%, respectivamente para os três materiais. O grau de conversão foi também avaliado, o qual não foi afetado com esta técnica pulso. Os autores creditaram estes resultados ao aumento da fase pré-gel da resina, o que possibilita um rearranjo molecular antes do material se tornar rígido. Isto sugere que a reação ocorre lentamente durante o intervalo de espera e, devido ao baixo módulo de elasticidade neste momento, poucas forças de contração são geradas. Este fato não foi observado em um teste piloto, citado pelos autores, quando a fotoativação foi feita em duas intensidades, porém sem intervalo entre as mesmas. Os menores valores registrados de forças de contração foram obtidos com a resina Heliomolar nas duas técnicas de fotoativação. Assim, indicaram que para se reduzir as tensões de contração de uma resina deve-se realizar uma combinação entre baixa intensidade de luz e um maior tempo de intervalo antes da utilização de uma alta intensidade.

Nesse mesmo ano, **HOFMANN, et al.**⁵⁷, avaliaram o efeito da utilização de uma baixa energia de luz (250 mW/cm²) no selamento marginal de restaurações com a resina Tetric em cavidades classe V. Compararam, pela análise da microinfiltração, a polimerização em alta densidade de potência, 600 mW/cm² – 40s, com um aparelho em menor potência, 250 mW/cm² – 40s. Com estes aparelhos, realizaram três técnicas de fotoativação: irradiação direta (próximo a restauração); à distância (10 mm); e a em movimento (da cervical

para oclusal). Da mesma forma, avaliaram indiretamente o grau de polimerização de espécimes fotoativados nas referidas condições, por meio do teste de dureza. Foi observado que a resina estudada pode ser fotoativada adequadamente com baixa energia (250 mW/cm^2) ou com 600 mW/cm^2 à 10 mm de distância. O uso de baixa energia produziu menores índices de infiltração marginal, resultando em melhor selamento marginal.

Considerando que a velocidade da reação de polimerização e a contração de polimerização podem ser reduzidas pela alteração na composição de uma resina composta, **ASMUSSEN; PEUTZFELDT**⁴, em 2002, realizaram testes envolvendo a medida da contração e sua velocidade a partir da alteração de fotoiniciadores (CQ- canforaquinona, PPD- phenylpropanodione e BZ- benzil), dos co-iniciadores (DABE- éster ácido dimetilaminobenzóico; CEMA- ciano etilmetilamina; DEPT- dietanol-p-toluidina) e da concentração do inibidor (metoxihidroquinona). Quanto aos fotoiniciadores não foram observadas diferenças quando a concentração de CQ foi modificada. Foi observado que o PPD e BZ reduziram a velocidade inicial de polimerização quando comparado com a CQ, porém, sem afetar a contração após três minutos. Isto foi creditado à absorção do espectro de luz, o qual é diferente ao da CQ. Quando a concentração do inibidor foi aumentada, uma significativa queda na velocidade de reação foi observada. Afirmaram no final que utilizando o PPD ou BZ, ou tendo uma maior concentração de inibidor na resina composta, poderia haver um favorecimento no selamento marginal de restaurações com este tipo de material.

Baseado nas vantagens verificadas nos aparelhos à base de LEDs, **DUNN; BUSH**.³⁸, em 2002, compararam dois destes aparelhos (LumaCure, 7 LEDs- 150 mW/cm^2 ; Versalux, 7 LEDs- 150 mW/cm^2), com dois à base de luz halógena (Optilux 400- 900 mW/cm^2 ; Optilux 501- 1030 mW/cm^2), quanto ao grau de polimerização. Foram utilizadas duas resinas compostas diferentes, uma híbrida (Z250) e outra de micropartículas (Renamel). Espécimes de 2mm de espessura por 8mm de diâmetro foram confeccionados com estas resinas e, fotoativados com as referidas fontes de luz por um tempo de 40s. O método de avaliação do grau de polimerização foi a dureza Knoop. Os dados obtidos demonstraram sempre valores mais altos de dureza para a resina híbrida,

independente da fonte de luz. Da mesma forma, as fontes halógenas produziram valores de dureza superiores aos das fontes à base de LEDs, tanto no topo quanto na base. Porém, o LumaCure produziu valores mais próximos ao da fonte halógena (35,18 para o LED e 39,25 para a fonte Halógena, no topo; 25,52 para o LED e 30,49 para a Fonte halógena). Diante destes dados, indicaram a necessidade da montagem de aparelhos com mais LEDs ou com LEDs mais potentes, para que a polimerização dos materiais resinosos não seja comprometida.

Em resposta a um editor, **LEONARD; CHARLTON**⁷¹, em 2002, descreveram algumas características e perspectivas dos aparelhos fotopolimerizadores à base de LEDs. Afirmaram que a tecnologia baseada nos aparelhos de arco de plasma não é promissora em função do seu alto custo e de suas limitações quanto à polimerização em curto período de tempo (3 – 5 s). Quanto ao LED, é descrito suas vantagens, como: produção de energia dentro da faixa de comprimento de onda específico para absorção da canforaquinona (450 – 490); baixo consumo de energia, podendo ser operado por baterias recarregáveis; portátil; sem fio elétrico; leve; baixa geração de calor e com vida de uso clínico por volta de mil horas. Afirmaram, também, que os LEDs da primeira geração apresentam uma baixa densidade de potência, tendo assim que aumentar o tempo de exposição, especialmente em resinas de micropartículas. Os autores concluíram que a tecnologia à base de LED mostra-se promissora e com boas perspectivas.

Com o objetivo de estudar uma nova tecnologia existente para fotopolimerização de materiais resinosos, os aparelhos à base de LED, **HOFMANN; HUGO; KLAIBER**⁵⁸, em 2002, avaliaram a cinética de contração e a dureza de três resinas compostas (Z 250, Herculite e Definite), utilizando como controle a lâmpada halógena. Cinco grupos de fotoativação foram realizados: Halógena contínua (40s – 800 mW/cm²); Halógena exponencial (5s – 100 mW/cm² aumentando para 800 mW/cm² em 10s e permanecendo por 25s nesta potência); LED 1 contínuo (40s – 320mW/cm²); LED 1 exponencial (0 – 320 mW/cm² em 10s + 30s - 320 mW/cm²); LED 2 contínuo (40s – 160 mW/cm²). A deformação por contração foi medida pelo método de “deflexão do disco”, no qual uma porção de resina composta foi colocada entre dois discos

e, por meio de um transdutor, que ficava em contato com o disco superior, a contração foi registrada após a polimerização do material. Assim, foi verificado que o método contínuo com luz halógena produziu uma rápida contração, seguido pelo LED 1 e LED 2. O LED 2 produziu os mais baixos valores de contração. A contração ocorreu mais rápida na resina Z 250 do que com a Herculite e Definite. A resina Definite produziu baixos valores de contração quanto fotoativada com o LED. O modo exponencial reduziu a velocidade da contração de polimerização, porém não resultou em menor contração. Os autores afirmaram que os baixos valores produzidos pelo LED 2 são em função de sua baixa densidade de potência. Relataram que o Definite apresenta outro fotoiniciador, o que resultou em mais baixos valores de contração. Da mesma forma, atribuiu à maior velocidade de reação na resina Z 250, à alta eficiência dos fotoiniciadores deste material.

Com o intuito de avaliar o efeito de uma polimerização lenta, com intervalo entre os pulsos de energia, **UNO et al.**¹⁰⁶, em 2003, testaram um aparelho de luz halógena (CT-7, Osada Eletric Industry) que é acoplado no equipo do consultório, o qual apresenta comandos para alteração da densidade de potência e tempo de exposição. Assim, realizaram testes de microdureza e de selamento marginal comparando as seguintes técnicas de fotopolimerização: CT1- $600 \text{ mW/cm}^2 - 30 \text{ s}$; CT2- $230 \text{ mW/cm}^2 - 20 \text{ s} + 600 \text{ mW/cm}^2 - 20 \text{ s}$; CT3- $230 \text{ mW/cm}^2 - 20 \text{ s} + \text{intervalo de } 10 \text{ s} + 600 \text{ mW/cm}^2 - 20 \text{ s}$; VIP (pulso interrompido)- $300 \text{ mW/cm}^2 - 3 \text{ s} + 3 \text{ minutos de intervalo} + 500 \text{ mW/cm}^2 - 30 \text{ s}$; CDX (Candelux, Morita)- $200 \text{ mW/cm}^2 - 10 \text{ s} + 600 \text{ mW/cm}^2 - 30 \text{ s}$. Os aparelhos VIP – Bisco e Candelux foram utilizados como comparação para o aparelho experimental. A adaptação marginal foi avaliada em cavidades cilíndricas, restauradas com resina híbrida. Quanto à microdureza, não foram verificadas diferenças entre as técnicas estudadas. Entretanto, quanto à adaptação marginal, as técnicas CT3 e VIP proporcionaram significativamente o melhor selamento. Os autores atribuíram estes resultados à reduzida intensidade de luz inicial e a presença de um intervalo sem luz, o que facilitam o escoamento ou movimentação do material para alívio das tensões. Segundo os autores, a aplicação de uma baixa intensidade de luz produz cadeias poliméricas longas e, com isso menor

deformação por contração. Afirmaram também, que o intervalo sem luz entre os dois pulsos de energia permite que a maturação da ligação adesiva ocorra sob baixa tensão.

Proposição

3. Proposição

Tendo como parâmetro principal a avaliação da contração de polimerização e, conseqüentemente, das tensões produzidas, este trabalho teve como objetivos o estudo dos seguintes fatores de variação:

- Tipos de fonte de luz e sistema de ativação
 - sistema físico à base de LED;
 - sistema físico por luz halógena;
 - sistema químico.
- Tipos de técnica de polimerização:
 - polimerização convencional com energia máxima dos aparelhos;
 - polimerização por pulso interrompido, com luz halógena, utilizando baixa energia inicial, associada a um intervalo sem luz e energia máxima final;
- Tipo de resinas compostas:
 - resina híbrida fotopolimerizável, Z100 – 3M;
 - resina de micropartículas fotopolimerizável, A110 – 3M;
 - resina “condensável” fotopolimerizável, SureFil – Dentsply;
 - resina composta quimicamente ativada, Bisfil 2B - Bisco .

Material e Métodos

04. Materiais e Métodos

Para avaliação da proposta deste trabalho, dois métodos científicos foram utilizados. O primeiro consistiu na análise da contração de polimerização a partir da utilização de extensômetros elétricos (*strain gauges*), o qual determinou a alteração dimensional das diferentes resinas utilizadas em função das diferentes técnicas de fotoativação. O segundo método determinou as tensões geradas pela contração de polimerização em função das diferentes resinas e técnicas de fotoativação a partir de uma análise óptica fotoelástica. Desta forma, este capítulo será dividido em duas partes, correspondentes aos dois métodos utilizados.

Materiais utilizados

Para realização desta investigação foram selecionados quatro tipos de resinas compostas (Tabela 3).

Tabela 3- Apresentação das características, fabricantes e números de lote das diferentes resinas compostas utilizadas neste estudo

<i>Material</i>	<i>Categoria / Cor</i>	<i>Sistema de ativação</i>	<i>Fabricante / N. de Lote</i>
Z100	Híbrida / A2	Física	3M / 2BA
A110	Micropartículas / A2	Física	3M / 2BL
SureFil	“Condensável” / A	Física	Dentsply / 010423
Bisfil 2B	Híbrida / Universal	Química	Bisco / Base-0100003796; Catalisador-0100004129

Da mesma forma, dois tipos de aparelhos fotopolimerizadores foram utilizados, um à base de LEDs e o outro de luz halógena (Tabela 4).

Tabela 4- Tipos, fabricantes e características dos aparelhos que foram utilizados nesta pesquisa

<i>Aparelho</i>	<i>Densidade de potência</i>	<i>Fabricante</i>
VIP	100 – 600 mW/cm ²	Bisco
LED	130 mW/cm ²	Dabi Atlante

4.2 Avaliação da contração de polimerização

O delineamento desta etapa do trabalho se constituiu a partir dos seguintes fluxogramas:

Nos dois grupos em que foi utilizada a fonte de luz halógena (técnica convencional e pulso), a mesma energia final foi aplicada, 36 J/cm^2 (densidade de potência x tempo). Como a fonte de luz à base de LED apresenta uma baixa densidade de potência, porém dentro de uma faixa estreita do espectro de luz (450-490nm), este valor de energia final não pode ser comparado ou equiparado.

Descrição do método para avaliação da contração de polimerização

Vários métodos têm sido propostos para a realização da mensuração da contração de polimerização de compostos à base de resina. A grande maioria está em função da utilização de dilatômetros de mercúrio ou de água, os quais determinam a contração volumétrica do material (De GEE; DAVIDSON; SMITH³⁶, 1981; DAVIDSON; De GEE³¹, 1984).

A utilização de extensômetros elétricos é uma boa opção para medir os componentes da contração de polimerização que são clinicamente significantes, pois os mesmos são unidos à superfície da resina determinando qualquer alteração dimensional na fase pós-gel (SAKAGUCHI, et al.^{94,93}, 1991 e 1992; SUH¹⁰², 1998). Estes sensores são extremamente sensíveis a qualquer mudança

linear, que pode ser perfeitamente medida pelo aparato que é ligado ao extensômetro elétrico (SAKAGUCHI, et al.^{94,93}, 1991 e 1992).

Baseado no fato de ser uma metodologia que permite uma evidenciação real da contração de polimerização, sendo usada por SAKAGUCHI, et al.,^{93,94} (1991 e 1992), YAP, et al.,¹¹⁶ (2000) e SUH¹⁰³ (1999), como uma melhor opção, este trabalho implementou o referido método para determinação da contração de polimerização. Para isso, uma aparelhagem mais complexa foi exigida, sendo um ponto decisivo para a realização desta metodologia. Assim, este trabalho foi desenvolvido de acordo com as etapas descritas abaixo.

Para possibilitar a confecção dos espécimes foram confeccionados dispositivos de silicona por adição (Provil –Bayer), de baixa densidade (leve), em forma de anel, com as seguintes dimensões: 9mm de diâmetro X 2mm de altura, tendo na sua porção central uma abertura circular com 5mm de diâmetro (Figura n.8). Este material à base de polivinilsiloxano foi escolhido em função de não propiciar adesão com a resina composta inserida, permitindo assim uma contração livre do material. Um extensômetro elétrico (KFG-02-120-C1-11- Kyowa/Japan; Lote- Y331/064A) foi fixado sobre uma placa de vidro com uma fita adesiva de dupla face, posicionando-se abaixo do anel e na posição central (Figura n.8). O extensômetro elétrico foi posicionado com sua base flexível em contato com a resina composta. A resina foi posteriormente inserida em volume único dentro deste anel, com o extensômetro elétrico presente, até o seu total preenchimento. Uma fita transparente de poliéster foi posicionada sobre este conjunto para planificação superficial do material. Neste momento, os extensômetros elétricos foram balanceados a zero para que a mensuração da contração fosse iniciada a

partir da fotoativação das resinas, conforme descrito anteriormente nos fluxogramas. Para a transmissão dos dados recebidos nos extensômetros elétricos, estes eram conectados a uma placa de aquisição de dados (SC- 2043 – SG, National Instruments Corp., Austin, Texas, USA), que continuamente enviava sinais para uma placa de leitura (PCI – MIO – 16 XE –50, National Instruments Corp., Austin, Texas, USA), instalada em um microcomputador Pentium II 133 MHz, 16Mb. Os dados obtidos foram visualizados no monitor do computador utilizando-se o programa LabView FDS (CD-ROM), versão 5.1 para Windows (National Instruments Corp., Austin, Texas, USA) (Figura n.9). Essas medidas foram captadas a cada segundo e por um período de 15 minutos, sob temperatura monitorada em $22,5 \pm 1$ °C.

Para cada variável estudada, cinco espécimes foram confeccionados, uma vez que este método proporciona resultados com baixos desvios padrão (SAKAGUCHI, et al.^{94,93}, 1991 e 1992; YAP, et al.¹¹⁶, 2000). A contração linear foi posteriormente determinada em unidades de *microstrain* ($\mu\epsilon$).

Figura 8 – Esquema da configuração do teste experimental para medir a contração de polimerização.

Figura 9- A- Demonstração da montagem do experimento, com o extensômetro elétrico posicionado sob a matriz de silicóna e sobre a fita adesiva dupla face. Demonstração dos fios dos extensômetros elétricos soldados com os fios elétricos que estão conectados com a placa de aquisição de dados. B- Visualização da inserção da resina composta sobre o extensômetro elétrico e dentro da matriz. C- Fotopolimerização da amostra de resina composta. D- Demonstração da tela do programa de aquisição dos dados de deformação, conforme ocorria a reação de polimerização do material resinoso estudado.

6.2 Avaliação das Tensões de Contração de Polimerização

Para avaliação das tensões provenientes da contração de polimerização, ocasionadas nas diferentes condições experimentais abaixo descritas, foi utilizado o método de fotoelasticidade. Este método permite uma análise qualitativa rápida do estado de tensão, através da observação dos efeitos óticos em modelos fotoelásticos (OLIVEIRA⁸⁶, 1990).

No intuito de realizar este experimento, foram confeccionados modelos fotoelásticos de resina transparente (Resina Cristal 2120- Redelease, São Paulo, # lote 080-02) contendo uma cavidade, tipo Classe I, com as seguintes dimensões: 5mm de comprimento X 3mm de largura X 2mm de profundidade, sendo que, em termos de área, o fator C desta cavidade corresponde a 3,1 (Figuras n.10 e 11). Em um estudo preliminar (piloto) foi observado que qualquer alteração na manipulação e proporção desta resina transparente, por mínima que fosse, conduzia a resultados diferentes em um mesmo grupo, podendo levar a resultados falso-positivos. Assim, para contornar e proporcionar resultados confiáveis, o delineamento desta etapa do trabalho foi modificada para que todas técnicas de fotoativação fossem comparadas para cada resina em um mesmo lote de vazamento de resina transparente. Desta forma, as condições experimentais avaliadas estão demonstradas nos fluxogramas a seguir.

Para obtenção destes modelos fotoelásticos, foi confeccionada uma matriz de silicone (Borracha branca- Redelease # lote 230501) contendo 28 moldes com o formato interno correspondente à cavidade acima descrita. Desta forma, a resina transparente foi devidamente proporcionada e, em seguida, vertida dentro destes

moldes. Os componentes da mesma foram proporcionados da seguinte forma^{*}: Resina Cristal 2120- 100g + Monômero Estireno- 13,8g + Butanox M50 – 30 gotas + Ácido Cobalto – 3 gotas. Todos esses componentes foram manipulados por um período de três minutos sob vibração mecânica e, em seguida, a resina obtida era inserida dentro dos moldes. Aguardou-se dez dias, em temperatura ambiente, para a completa polimerização dos modelos fotoelásticos.

* Proporção e manipulação realizada pelo Técnico Nelson Queiroz do departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Dentários da FOB - USP

Procedimentos restauradores

Com a finalidade de promover uma adesão entre as paredes do modelo fotoelástico e as resinas estudadas, foi aplicada uma camada homogênea do adesivo Scotchbond Multi Purpose –3M (# lote- 04121). Este agente de união foi utilizado em todas condições experimentais, uma vez que, face à variação quanto ao módulo de elasticidade, normalmente existente entre as diferentes marcas comerciais de adesivos, poderia haver influência direta na magnitude final das tensões geradas pela contração de polimerização. Assim, as resinas foram inseridas nas cavidades em volume único e polimerizadas de acordo com as condições experimentais instituídas nesta etapa do estudo (Figura n.11). Todos estes procedimentos foram realizados em um ambiente com temperatura monitorada em 23 ± 2 °C. Este conjunto, modelo fotoelástico e resina composta (MF-RC) foi, em seguida, preparado para se efetuar a avaliação das tensões de contração. Para cada condição experimental, demonstrada nos fluxogramas, foram confeccionados sete corpos-de-provas.

Imediatamente após o término das restaurações, foram realizadas secções dos conjuntos MF-RC (2mm de espessura) perpendicular ao maior eixo da restauração (Figura n.12), por meio de uma máquina de corte especial associada à um disco diamantado (Extec-Division of Excel Technology Inc), sob refrigeração abundante de água. O início do seccionamento sempre se deu na base do modelo fotoelástico, a fim de que não gerasse tensão próximo às paredes que faceavam o material restaurador (Figura n.12). Em seguida, as fatias foram submetidas a um polimento manual com lixas d'água com granulação decrescente 1200 e 2000

(3M), sob pressão manual e por um período de 20 s em cada lixa. Os debris provenientes do polimento foram removidos com o uso de acetona. Todos estes procedimentos perfizeram um período de aproximadamente 50 minutos.

Figura 10 – Esquema da cavidade no modelo fotoelástico e a secção para análise do estresse por fotoelasticidade

Figura 11- A- Modelo de resina transparente contendo uma cavidade tipo “caixa”;
B- Cavidade restaurada com resina composta, resultando no conjunto modelo fotoelástico/restauração

Figura 12- Demonstração da máquina de corte executando o seccionamento do modelo pela base

Figura 13- Visualização da fatia obtida após o polimento superficial pronta para ser avaliada sob microscópio de luz polarizada

Imediatamente após a obtenção do referido espécime, as tensões decorrentes da contração de polimerização das diferentes resinas compostas foram avaliadas pela observação de franjas (*fringes*) isocromáticas nas paredes do modelo fotoelástico (Figura ns.13 e 15), por meio de um microscópio óptico de luz polarizada (Carl-Zeeiss, Alemanha), que por conter um filtro polarizador e analisador de luz, associado a placas de $\frac{1}{4}$ de onda, caracteriza-se como um polariscópio circular (CLAUS-PETER et al.²³, 2000; KINOMOTO, et al.⁶³, 1999) (Figura 14). Este microscópio, por meio de uma câmera de vídeo acoplada, transmitia as imagens diretamente para o computador, onde estas foram devidamente armazenadas para posterior avaliação, quanto à área de tensões formadas. No estudo preliminar foi verificado que a observação das tensões em campo escuro facilitava a determinação mais precisa do contorno das franjas formadas, uma vez que quando se obtinha franjas coloridas (isocromáticas) a imagem ficava muito difusa, dificultando o seu delineamento.

Figura 14 – Esquema do método para determinação do estresse de contração por fotoelasticidade

6.2.1 Análise do Estresse de Contração pela determinação das áreas de tensões formadas

A partir das imagens armazenadas no computador, as tensões foram avaliadas quantitativamente, em função das diferentes condições experimentais. Por meio de um programa específico de análise de imagens (*Image-Pro lite*, versão 4.0 windows, Maryland, USA) e, a partir de uma ferramenta de calibração para medida em milímetros (mm), todas as áreas correspondentes às tensões formadas nas paredes do modelo fotoelástico foram contornadas, determinando-se um valor em mm^2 (Figuras n. 15 – 18). Para cada espécime, três mensurações foram realizadas e, uma média foi obtida. Este programa, após a calibração, permitia que a área referente à tensão fosse contornada automaticamente, onde esta era delimitada em função da gradação de cor. Assim, esta possibilidade tecnológica reduziu a margem de erro, uma vez que o processo de delimitação não ficava em função somente da acuidade visual do examinador.

Figura 15 – A- Visualização de franjas isocromáticas formadas nas paredes do modelo fotoelástico. B- Imagem captada da metade do espécime, demonstrando as áreas referentes às tensões em campo escuro.

Figura 16- A- Demonstração de uma das imagens sendo calibrada para mensuração das tensões em milímetros ao quadrado. B- Janela presente no programa para seleção da ferramenta de mensuração de área

Figura 17- Imagem referente à mensuração automática da área, onde três medidas foram realizadas de forma a delimitar a parte mais densa formada pelas tensões

Figura 18- Visualização da janela do programa após o contorno da área de interesse. Nesta janela verifica-se que o próprio programa já fornece a média das três mensurações realizadas

Resultados

5. Resultados

Os resultados, referentes à avaliação da contração de polimerização, estão dispostos na Tabela 5 e ilustrados pelas Figuras 19, 20 e 21. Os dados obtidos são referentes à contração ocorrida nos primeiros quatro minutos e após um período de 15 minutos. Os valores de contração foram obtidos em microdeformação (*microstrain*).

Tabela 5 - Valores das médias da contração de polimerização e desvios padrão nos primeiros 4 minutos e após 15 minutos, em função dos diferentes grupos estudados

GRUPOS	CONTRAÇÃO- 4 minutos	CONTRAÇÃO- 15 minutos
Pol. Convencional Halógena – Z100- G1Z	-3128,92±61,7 ^a	-3703,06±168,5 ^L
Pol. Convencional Halógena – A110- G1A	-2492,07±158,4 ^b	-3309,83±208,2 ^{mL}
Pol. Convencional Halógena – SUREFIL- G1S	-2249,88±135,2 ^{c b}	-2933,51±169,1 ⁿ
Pol. Convencional LED – Z100- G2Z	-2424,89±310,4 ^{d b c}	-3153,59±168,5 ^{o m n}
Pol. Convencional LED – A110- G2A	-1733,99±173,8 ^e	-2499,14±208,9 ^p
Pol. Convencional LED – SUREFIL- G2S	-1403,15±120,8 ^f	-2066,31±124,8 ^{q p}
Pol. Pulso Interrompido – Z100- G3Z	-301,58±162,9 ^g	-2779,52±218,0 ^{r n o p}
Pol. Pulso Interrompido – A110- G3A	-314,20±82,1 ^{h g}	-2937,49±107,9 ^{s m n o r}
Pol. Pulso Interrompido – SUREFIL- G3S	-182,73±45,4 ^{i g h}	-2370,67±230,9 ^{t p q}
Pol. QUÍMICA – BISFIL 2B- G4	-9,54±8,5 ^{j g h i}	-670,41±128,9 ^u

Primeiras Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

Figura 19- Gráfico demonstrativo das curvas de contração de polimerização obtidas em função dos diferentes grupos estudados

G1Z- Polim. Convencional halógena- Z100; G1A- Polim. Convencional halógena- A110; G1S- Polim. Convencional halógena- SureFil; G2Z- Polim. Convencional LED- Z100; G2A- Polim. Convencional LED- A110; G2S- Polim. Convencional LED- SureFil; G3Z- Polim. Pulso halógena- Z100; G3A- Polim. Pulso halógena- A110; G3S- Polim. Pulso halógena- SureFil; G4- Resina quimicamente ativada.

Figura 20- Gráfico das médias dos valores de contração de polimerização nos primeiros 4 minutos da reação de polimerização

Figura 21- Gráfico das médias dos valores de contração de polimerização após 15 minutos de reação de polimerização

Para avaliação dos dados obtidos desta primeira etapa do estudo, foi aplicado, inicialmente, o teste paramétrico de análise de variância à dois critérios (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparações individuais. Sendo assim, os dados referentes às médias dos valores de contração ocorridos nos primeiros 4 minutos e após 15 minutos foram analisados separadamente. Como o grupo 4 (resina química) representou apenas um material e com um tipo específico de ativação, os dados obtidos foram analisados, separadamente, pela análise de variância a um critério.

Desta maneira, considerando os valores dos primeiros 4 minutos de contração de polimerização, pôde-se verificar que a resina quimicamente ativada apresentou significativamente menor contração de polimerização do que os outros materiais fotoativados nas diferentes técnicas (G1 e G2), exceto quando comparado com os valores obtidos com a técnica pulso interrompido para as três resinas estudadas. Entretanto, nos dados referentes à contração após 15 minutos,

a resina química apresentou significativamente os menores valores de contração de polimerização.

Comparando os três meios de fotoativação, foi verificado que nos primeiros 4 minutos (Figura n.22), a técnica pulso interrompido proporcionou significativamente os menores valores de contração para as resinas Z100, A110 e SureFil, sendo que a técnica convencional com fonte halógena apresentou as maiores médias, ficando o grupo com a fonte à base de LEDs com os valores intermediários ($G1 > G2 > G3$). Nos valores obtidos após 15 minutos (Figura n.23), foram observados os mesmos resultados para resina Z100, comparado aos 4 minutos ($G1 > G2 > G3$). Com a resina A110, foi observado que o grupo fotoativado com a fonte LED apresentou significativamente os menores valores de contração de polimerização, enquanto que a técnica convencional e a pulso interrompido não diferiram estatisticamente entre si ($G2 < G3 \sim G1$). Contrariamente, para resina SureFil, os maiores valores de contração foram encontrados somente no grupo fotoativado com luz halógena de forma convencional, enquanto que os grupos fotoativados com LED e pela técnica pulso, proporcionaram as menores médias de contração, não diferindo entre si ($G2 \sim G3 < G1$).

Analisando o desenvolvimento da contração das três resinas fotoativadas, frente às três formas de fotoativação, foi verificado diferentes comportamentos das mesmas em cada método de fotopolimerização. Assim, nos quatro primeiros minutos foi observado que na técnica convencional com luz halógena a resina Z100 apresentou as maiores médias de contração, enquanto que as resinas A110 e SureFil apresentaram menores valores não diferindo estatisticamente entre si ($Z100 > A110 \sim \text{SureFil}$). Com o uso do LED, a resina SureFil apresentou os menores valores de contração, seguido, em ordem crescente, pela resina A110 e Z100 ($\text{SureFil} < A110 < Z100$). Diferentemente, no grupo referente à técnica pulso interrompido, as três resinas mostraram valores estatisticamente semelhantes ($Z100 \sim A110 \sim \text{SureFil}$). Após 15 minutos de avaliação, foi notado nos grupos fotoativados com luz halógena, na forma convencional ($G1$) e pulso ($G3$), que a resina SureFil sofreu uma contração significativamente menor, enquanto que a resina A110 não diferiu estatisticamente da resina Z100 ($\text{SureFil} < A110 \sim Z100$). No

grupo fotoativado com o LED, a resina SureFil não diferiu estatisticamente da resina A110, porém com menores médias de contração quando comparadas à resina Z100 (SureFil~A110<Z100).

Figura 22- Demonstração gráfica da interação ocorrida entre as três formas de fotoativação, G1- Convencional halógena; G2- LED; G3- Pulso interrompido, em função das três resinas A- A110; S- SureFil e Z- Z100. (Quatro minutos de avaliação)

Figura 23- Demonstração gráfica da interação ocorrida entre as três formas de fotoativação, G1- Convencional halógena; G2- LED; G3- Pulso interrompido, em função das três resinas A- A110; S- SureFil e Z- Z100. (15 minutos de avaliação)

Avaliação das tensões promovidas pela contração de polimerização

Os dados obtidos pelo método fotoelástico dos grupos experimentais estudados, conforme proposto no delineamento desta etapa do estudo, estão demonstrados nas Tabelas 6 - 10 e ilustrados nas Figuras n.24 e 25.

Tabela 6- Demonstração das médias e desvios-padrão obtidos em milímetros ao quadrado das tensões geradas no grupo da resina Z100, fotoativada em função da técnica convencional com luz halógena, do LED e da técnica pulso interrompido. Como grupo controle, estão demonstrados os dados obtidos com a resina Bisfil 2B (ativação química).

Material	Tipo de Fotoativação	Área de tensões
Z100	Convencional Halógena	5,7±0,58 ^a
Z100	LED	6,4±0,24 ^b
Z100	Pulso Interrompido	4,8±0,37 ^c
Bisfil 2B	Química	3,2±0,58 ^d

Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

Tabela 7- Demonstração das médias e desvios-padrão obtidos em milímetros ao quadrado das tensões geradas no grupo da resina A110, fotoativada em função da técnica convencional com luz halógena, do LED e da técnica pulso interrompido. Como grupo controle, estão demonstrados os dados obtidos com a resina Bisfil 2B (ativação química).

Material	Tipo de Fotoativação	Área de tensões
A110	Convencional Halógena	7,1±0,38 ^a
A110	LED	7,3±0,40 ^a
A110	Pulso Interrompido	6,1±0,67 ^b
Bisfil 2B	Química	3,1±0,62 ^c

Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

Tabela 8- Demonstração das médias e desvios-padrão obtidos em milímetros ao quadrado das tensões geradas no grupo da resina SureFil, fotoativada em função da técnica convencional com luz halógena, do LED e da técnica pulso interrompido. Como grupo controle, estão demonstrados os dados obtidos com a resina Bisfil 2B (ativação química).

Material	Tipo de Fotoativação	Área de tensões
SureFil	Convencional Halógena	3,9±0,72 ^a
SureFil	LED	4,2±0,45 ^a
SureFil	Pulso Interrompido	3,7±0,63 ^{ab}
Bisfil 2B	Química	2,8±0,79 ^{cb}

Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

As tabelas abaixo (n.9 e n.10) demonstram os dados obtidos quando as diferentes resinas compostas foram comparadas entre si, sendo polimerizadas com a técnica convencional com luz halógena (Tabela n.9), com a técnica pulso interrompido (Tabela n.10) e, tendo como controle a resina quimicamente ativada.

Tabela 9- Demonstração das médias e desvios-padrão obtidos em milímetros ao quadrado das tensões geradas no grupo polimerizado com luz halógena convencional em função das diferentes resinas compostas, Z100, A110 e SureFil. Como grupo controle, estão demonstrados os dados obtidos com a resina Bisfil 2B (ativação química).

Tipo de Fotoativação	Material	Área de tensões
Convencional Halógena	Z100	9,1±0,40 ^a
Convencional Halógena	A110	8,5±0,71 ^a
Convencional Halógena	SureFil	7,3±0,30 ^b
Química	Bisfil 2B	5,6±1,20 ^c

Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

Tabela 10- Demonstração das médias e desvios-padrão obtidos em milímetros ao quadrado das tensões geradas no grupo polimerizado com luz halógena na forma pulso interrompido em função das diferentes resinas compostas, Z100, A110 e SureFil. Como grupo controle, estão demonstrados os dados obtidos com a resina Bisfil 2B (ativação química).

Tipo de Fotoativação	Material	Área de tensões
Pulso Interrompido	Z100	$8,1 \pm 0,65^a$
Pulso Interrompido	A110	$7,8 \pm 0,58^a$
Pulso Interrompido	SureFil	$7,0 \pm 0,39^b$
Química	Bisfil 2B	$4,0 \pm 0,50^c$

Letras iguais = ausência de diferenças estatisticamente significantes $p \leq 0,05$

Figura 24 – Gráfico dos três grupos, comparando os quatro sistemas de ativação em cada grupo independente

Figura 25 – Gráfico demonstrando a comparação das quatro resinas compostas estudadas em função da fotopolimerização pelo método convencional e gradual (Pulso interrompido)

Para todos os grupos desta etapa do estudo, o teste de análise de Variância a um critério associado ao teste de comparações múltiplas, Tukey ($p \leq 0,05$), foram aplicados. Para o grupo em que foram comparados os quatro meios de polimerização, referentes ao grupo da resina Z100, foi verificado que o sistema químico de ativação (Bisfil 2B) gerou significativamente menos tensões do que o sistema convencional de ativação com luz halógena ($p=0,0001$), LED ($p=0,0001$) e, o sistema de pulso interrompido ($p=0,0001$). O sistema pulso interrompido reduziu significativamente as tensões de contração quando

comparado com o sistema convencional de fotoativação com a fonte halógena ($p=0,011$) e LED ($p=0,0001$). As maiores médias de tensões foram geradas pela sistema convencional de fotoativação com a fonte de luz halógena e com o LED, sendo que, o este último proporcionou significativamente mais tensões ($p=0,02$).

Comparando os sistemas de ativação em função da resina A110, foi verificado novamente que o sistema químico gerou significativamente menos tensões do que as outras formas de fotoativação ($p=0,0001$). Da mesma forma, o sistema de pulso interrompido reduziu significativamente as tensões, quando comparado com a forma convencional de fotoativação, tanto com luz halógena ($p=0,014$), quanto com LED ($p=0,001$). Estes dois sistemas não diferiram estatisticamente ($p=0,75$) para a resina A110.

Para o grupo da resina SureFil, os menores valores de tensão foram obtidos com o controle, ou seja, o sistema químico de ativação, sendo que este foi significativamente semelhante ao sistema de pulso interrompido ($p=0,08$). Foi observado também que o sistema pulso, o convencional halógeno e o LED produziram tensões significativamente semelhantes ($p=0,9$).

Fazendo as comparações entre as resinas compostas utilizadas neste estudo, foi verificado que tanto na polimerização convencional, quanto na pulso interrompido, com luz halógena, as maiores médias de tensões foram geradas pelas resinas Z100 e A110, as quais não diferiram estatisticamente entre si ($p=0,5$ e $p=0,7$, respectivamente). Por outro lado, a resina Bisfil 2B gerou significativamente menores tensões de contração de polimerização. Já a resina SureFil apresentou resultados intermediários, gerando significativamente menos tensões do que as resinas A110 ($p=0,02$ – polimerização convencional e $p=0,03$ – pulso interrompido, respectivamente) e Z100 ($p=0,0007$ e $p=0,002$, respectivamente).

Discussão

6. Discussão

Da metodologia

As metodologias para avaliação da contração de polimerização e das tensões de contração, envolvendo os diferentes materiais disponíveis no mercado odontológico e, em especial, dos que apresentam características adesivas, têm recebido grande atenção no cenário científico. Neste estudo, foram utilizadas duas metodologias distintas, uma para determinar a contração de polimerização, a partir do uso de extensômetros elétricos, e outra para avaliar a distribuição e quantidade das tensões de contração por meio da fotoelasticidade.

Diversas metodologias têm sido utilizadas para determinar a contração de polimerização dos materiais à base de resina, como: dilatômetro de mercúrio, dilatômetro de água, linômetro, método por densidade e método do “disco unido” (*bonded disc*) (DE GEE; DAVIDSON; SMITH³⁶, 1981; HEGDAHL; GJERDET⁵⁶ 1977, PUCKETT, SMITH⁸⁸, 1992, WATTS; HINDI¹¹³, 1999). O método utilizando extensômetros elétricos (*strain gauges*) representa uma importante opção para avaliação da contração de polimerização das resinas compostas, uma vez que estes sensores são extremamente precisos e sensíveis frente a uma deformação (SAKAGUCHI et al.^{95,94,93}, 1989, 1991, 1992). Dentre os métodos existentes para este fim, o uso dos extensômetros elétricos se apresenta com uma grande vantagem, uma vez que o mesmo é fixado em íntimo contato com o material testado, determinando valores reais de deformação em função da contração de polimerização.

Outro aspecto que eleva sua relevância na mensuração da contração de polimerização se baseia no fato de que o *strain gauge* somente registra contração, quando o material apresenta-se com uma rigidez acima do ponto gel, pois antes deste ponto (pré-gel), as forças geradas são compensadas pelo rearranjo molecular, fazendo com que o material não se deforme. Assim, os valores obtidos com este método são mais significantes clinicamente, pois a contração ocorrida na fase pós-gel constitui-se como um dos grandes problemas no uso clínico das

resinas compostas, uma vez que nesta fase a contração ocorrida gera tensões significativas para o selamento marginal (SAKAGUCHI et al.⁹³, 1992). Da mesma forma, os valores obtidos são em tempo real, podendo-se assim estudar também a cinética de polimerização dos materiais à base de resina.

Uma importante variável interveniente, que possibilitaria a alteração dos resultados obtidos com este teste, é a variação de temperatura no ambiente, uma vez que o *strain gauge* poderia emitir dados não só em função da contração, mas como também da alteração térmica. Entretanto, uma importante característica que estes extensômetros elétricos possuem é um sistema próprio de compensação da temperatura (11,7 PPM/°C), que auxilia na obtenção de dados reais. No intuito de evitar qualquer interferência térmica, todo o experimento foi realizado em um ambiente com temperatura controlada em $22,5\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1$.

Quanto à determinação do delineamento desta pesquisa, este foi feito em função do teste de dois tipos distintos de fonte de luz, halógena e LED, de duas técnicas de polimerização (convencional e pulso interrompido) e de quatro categorias de materiais restauradores. Portanto, sabe-se que os sistemas fotopolimerizadores com alta densidade de potência são recomendados universalmente. Neste trabalho, estudou-se o comportamento dos materiais sendo fotoativados com a técnica convencional com luz halógena e LED e pela técnica gradual (pulso interrompido) com luz halógena. A inclusão de um grupo com LED utilizando uma técnica gradual não foi efetuada, uma vez que a densidade de potência emitida por estes aparelhos ainda é baixa, implicando, teoricamente, em uma técnica sem necessidade de modulação da fotoativação. A técnica de polimerização gradual tipo pulso interrompido foi selecionada para este estudo em função de que as outras, *soft start* e *ramp*, não apresentam intervalo sem luz, de forma que recentes trabalhos não verificaram resultados superiores à convencional, uma vez que a ausência de intervalo entre as duas cargas de energia (baixa e alta), faz com que não haja tempo suficiente para relaxamento da tensões (BOUSCHLICHER, RUEGGEBERG, BOYER¹¹, 2000; YAP, NG, SIOW¹¹⁷, 2001; SAHAFI, PEUTZFELDT, ASMUSSEN⁹², 2001). Desta forma, apesar desta técnica ter a intenção de evidenciar uma fase pré-gel nas resinas fotossensíveis, a

energia convencional aplicada em seguida, faz com que a reação ocorra rapidamente, produzindo altas tensões como na técnica convencional. SAHAFI; PEUTZFELDT; ASMUSSEN⁹² (2001) afirmaram que para se reduzir a formação de fendas marginais em restaurações de resina composta é necessário a existência de no mínimo 1 minuto de intervalo entre os pulsos de luz (baixo e alto).

Além disso, diversos materiais têm sido lançados no mercado com diferentes formulações, como resinas híbridas, de micropartículas e “condensáveis”, incorporando diferentes propriedades físicas e mecânicas.

A seleção de quatro tipos de materiais restauradores foi feita em função da possibilidade de interferência das diferentes composições e formulações no desenvolvimento da contração de polimerização e na produção de tensões, pois, propriedades como módulo de elasticidade, contração de polimerização, coeficiente de expansão térmica e sorção de água correlacionam-se diretamente com o tipo e composição de cada material (ASMUSSEN³, 1975; BAUSCH et al.⁷, 1982; LAMBRECHETS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹, 1987; BULLARD; LEINFELDER; RUSSELL¹⁵, 1988; DAVIDSON; KEMP-SCHOLTE³⁵, 1989). Além disso, a cinética de polimerização apresentada por cada material, que é dependente de sua constituição, também deve ser considerada, pois materiais com formas diferentes de ativação para polimerização, como por luz ou química, mostram reações com velocidades distintas. Essa observação foi importante para a decisão da inclusão de uma resina quimicamente ativada como um controle, uma vez que estas apresentam uma reação de polimerização mais lenta do que as fotoativadas, permitindo assim um maior alívio do estresse proveniente da contração de polimerização (BERTOLOTTI⁸, 1991; FUSAYAMA⁴⁹, 1992; GARBEROGLIO; COLI; BRANSTRÖM⁵⁰, 1995; DE GEE; DAVIDSON; SMITH³⁶, 1981).

Alguns pesquisadores têm medido as tensões provenientes da contração de polimerização por meio de um tensilômetro (FEILZER; DE GEE; DAVIDSON⁴⁰, 1987; CONDON; FERRACANE²⁴, 2000), o qual expressa as tensões máximas em valores numéricos (Newtons ou Megapascal). Entretanto, sabe-se que as tensões produzidas por uma resina composta dentro de uma cavidade ocorrem diferentemente nas margens e no assoalho da cavidade (KINOMOTO; TORII⁶⁵,

1998), tendo uma distribuição não uniforme. Assim, o método da fotoelasticidade aplicado nestas condições pode ser uma importante maneira de se avaliar a distribuição e qualidade das tensões produzidas por materiais à base de resina composta.

A análise das tensões por fotoelasticidade é utilizada para descrever qualitativamente os padrões da distribuição das mesmas. É uma forma de medida baseada na habilidade de certos materiais transparentes em exibirem franjas, quando tensionados sob luz polarizada. Geralmente forma-se seqüências de franjas crescentes quanto à tensão (preto-zero de tensão; vermelho-azul: 1ª seqüência; vermelho-verde: 2ª seqüência), as quais são diretamente proporcionais à magnitude das tensões geradas (MAHLER; PEYTON⁷⁷, 1955; BURNS, et al.¹⁶, 1990). Segundo MENTINK, et al.⁸⁰ (1998), o aumento no número de franjas no material fotoelástico indica o aumento de tensões induzidas. Entretanto, padrões de cores que não correspondem às franjas ou áreas de transparência podem também indicar desenvolvimento de tensões. Além de ter que ser transparente, o material fotoelástico deve ser unirefringente quando está sob carga zero. Porém, quando tensionado o material tem que deixar de ser isotrópico, passando a ser birrefringente. A resina Cristal, utilizada no presente estudo, preenche estas características, tendo sido testada previamente no estudo preliminar (piloto). No presente trabalho, foi utilizado um microscópio de luz polarizada, que por conter uma placa polarizadora e outra analisadora associadas à duas placas de $\frac{1}{4}$ de onda, caracteriza-se como um polariscópio circular (BURNS et al.¹⁶, 1990; KINOMOTO; TORII⁶⁵, 1998). A presente metodologia foi modificada a partir do trabalho de KINOMOTO; TORII⁶⁵ (1998), que utilizaram um microscópio de luz polarizada para determinar a distribuição das tensões produzidas dentro de uma resina composta transparente. Porém, diferentemente do trabalho mencionado, as tensões foram analisadas nas paredes de um modelo fotoelástico em função de diferentes resinas compostas e distintas formas de fotoativação. Com este método, geralmente, obtém-se dados qualitativos, conforme quantidade de franjas isocromáticas (coloridas) formadas no modelo fotoelástico. Para obter dados quantitativos, a fim de possibilitar a verificação com mais acurácia das possíveis

diferenças entre as variáveis estudadas, optou-se neste estudo pela quantificação das zonas de tensões formadas a partir da mensuração das mesmas em um programa de computador, as quais foram determinadas em milímetros ao quadrado (mm^2). No estudo preliminar (piloto), foi observado que os procedimentos de mensuração destas áreas, correspondentes às franjas formadas, eram otimizados quando analisados em campo escuro, uma vez que estas ficavam muito esparsas sob iluminação do microscópio, dificultando sua delimitação. Assim, em campo escuro todas as áreas correspondentes às franjas coloridas formadas tornavam-se monocromáticas e com contorno definido, facilitando sua mensuração. Segundo, CLAUS-PETER et al.²³, em 2000, a intensidade de cada pixel de luz gerada no modelo fotoelástico é diretamente proporcional à tensão gerada no mesmo.

Neste mesmo estudo preliminar, foi observado que esta metodologia, apesar de poder contribuir grandemente com o entendimento do desenvolvimento de tensões de contração, apresenta-se com uma sensibilidade muito grande, podendo gerar resultados falsos-positivos. Isto foi em decorrência da observação de que qualquer alteração, por mínima que fosse, no proporcionamento da resina fotoelástica ou mesmo na temperatura do ambiente, em que esta ficava no período de polimerização, gerava padrões de tensões distintos em um mesmo grupo. O delineamento desta parte do estudo foi diferente (conforme descrito no capítulo Material e Métodos) do realizado na parte referente à análise da contração de polimerização, para que as condições experimentais estudadas fossem comparadas a partir de um mesmo proporcionamento da resina fotoelástica. Portanto, o desenho da pesquisa foi direcionado para comparação das três formas de fotoativação para cada resina estudada, tendo sempre como controle a resina quimicamente ativada. Ainda dentro deste delineamento, comparou-se as quatro categorias de resinas compostas, sendo que as fotoativadas foram polimerizadas, em um grupo, pela técnica convencional e, em outro, pela gradual (Pulso interrompido), com uma fonte de luz halógena. A fotoativação com o LED não foi estabelecida, uma vez que foi observado, pelo

estudo piloto, que este tipo de fonte de luz produziu resultados similares à luz halógena aplicada de forma convencional.

Sendo assim, foi possível avaliar os aspectos relacionados à contração de polimerização e distribuição das tensões em função das diferentes formas de ativação e de distintas categorias de resinas compostas, permitindo a discussão dos resultados no item seguinte.

Dos resultados

Neste estudo, foi avaliada a influência de diferentes meios e métodos de polimerização de diferentes materiais resinosos, quanto à contração de polimerização e à geração de tensões.

A cinética de polimerização dos materiais vem sendo bastante referida como sendo um fator que apresenta relação direta com um adequado selamento marginal, uma vez que quanto menor a velocidade da reação de polimerização, maior a possibilidade de obtenção de margens sem fendas (DE GEE; DAVIDSON; SMITH³⁶, 1981; BERTOLOTTI⁸, 1991; FUSAYAMA⁴⁹, 1992; GARBEROGLIO; COLI; BRANSTRÖM⁵⁰, 1995; BOUSCHLICHER; VARGAS; BOYER¹², 1997; SUH¹⁰³, 1999; KINOMOTO, et al.⁶³, 1999; GRIFFITIS et al.⁵³, 1999; DAUVILLIER; AARNTS; FEILZER²⁸, 2000; BRAGA; FERRACANE¹⁴, 2002). De acordo com SUH¹⁰³ (1999) a teoria que estabelece que a tensão de contração de uma resina como o produto da contração linear com o valor do módulo elástico ($T = C \times E$), não consegue explicar a razão pela qual as resinas quimicamente ativadas produzem menos tensões do que as fotoativadas, tendo estas os mesmos valores de contração e módulo elástico. Assim, foi proposto a adição do fator cinética ($T = C \times E \times K$) para que este fenômeno pudesse ser explicado. Dando suporte a este contexto, DAUVILLIER; AARNTS; FEILZER²⁹, (2003) reportaram que embora a composição química seja bastante distinta entre diferentes resinas compostas, em geral, o aumento na velocidade de polimerização tem um efeito negativo na capacidade de fluxo de um material. Este fato foi claramente visualizado nos resultados deste estudo, onde a resina quimicamente ativada (Bisfil 2B) produziu os mais baixos valores de contração (nos primeiros quatro minutos e após 15 minutos) e, da mesma forma, os mais baixos valores de tensões. Estes dados são largamente consubstanciados na literatura, onde vários autores afirmam que este tipo de resina apresenta uma fase pré-gel evidente, fase esta em que o material ainda não se encontra em um estágio rígido, permitindo que haja o escoamento da tensões provenientes da contração de polimerização (De GEE; DAVIDSON; SMITH³⁶, 1981; BERTOLOTTI⁸, 1991; FUSAYAMA⁴⁹, 1992; FEILZER; De GEE;

DAVIDSON⁴⁴, 1993; GARBEROGLIO; COLI; BRANSTRÖM⁵⁰, 1995; BOUSCHLICHER; VARGAS; BOYER¹², 1997; KINOMOTO; TORI⁶⁵, 1998; KINOMOTO et al.⁶³, 1999; GRIFFITHS, et al.⁵³, 1999; KINOMOTO et al.⁶⁴, 2000). Corroborando com o entendimento dos resultados do presente estudo, GRIFFITHS et al.⁵³, em 1999, encontraram melhores resultados, quanto ao selamento marginal, nas restaurações com resina quimicamente ativada, quando comparada com as fotoativadas, e com comportamento similar às restaurações de amálgama. Neste mesmo direcionamento, KINOMOTO, et al.^{63,64}, em 1999 e 2000, utilizando o método da fotoelasticidade, encontraram que as tensões geradas pela resina fotoativada foram duas vezes maior que as da quimicamente ativada, relação também observada no presente estudo. Creditaram estes achados à uma menor velocidade de reação de polimerização das resinas quimicamente ativadas, apresentado assim uma fase pré-gel evidente.

Nos primeiros quatro minutos de avaliação da contração, foi observado que a técnica do pulso interrompido apresentou, para as três resinas, valor estatisticamente similar aos valores obtidos com a resina de ativação química. Isto demonstra, que este método de fotoativação proporciona à resina composta uma reação de polimerização mais lenta, evidenciando a presença de um período condizente com uma fase pré-gel nas resinas compostas fotopolimerizáveis. Nos grupos em que se utilizou a forma convencional de polimerização (G1-halógena e G2- LED), foi verificado um perfil de contração condizente com uma reação instantânea, com mínima fase pré-gel (Figura n.19).

Nesse sentido, sabe-se que a aplicação de uma energia luminosa de forma convencional (sem modulação) sobre a resina composta, propicia uma rápida reação de polimerização, ou seja, ocorrerá uma passagem instantânea de um estado menos viscoso (pré-gel) para um estado rígido (pós-gel), de forma a aumentar rapidamente o módulo de elasticidade (SAKAGUCHI et al.⁹³, 1992; MEHL et al.⁷⁹, 1997; DAVIDSON; FEILZER³⁴, 1997). Até o ponto gel, que define o momento em que a cadeia polimérica da resina composta não mais possibilita um escoamento para alívio das tensões, as forças de contração podem ser compensadas pelo rearranjo molecular desta rede polimérica (DAVIDSON;

FEILZER³⁴, 1997). Após o desenvolvimento da rigidez da resina (pós-gel), verificar-se-á uma grande redução no escoamento deste polímero, aumentando-se a concentração das tensões (DAVIDSON; DE GEE³¹, 1984; UNTERBRINK; MUESSNER¹⁰⁸, 1995; SAKAGUCHI; FERRACANE⁹⁷, 1998). Desta maneira, uma energia luminosa contínua proporcionará um baixo e limitado alívio das tensões, justamente por induzir uma fase pré-gel pouco evidente e, portanto, incapaz de compensar as forças geradas pela contração (SAKAGUCHI et al.⁹³, 1992).

Por outro lado, a combinação de uma lenta reação de polimerização e rápida formação da união, fornece uma condição favorável para preservação da integridade marginal, pois com um processo de conversão mais prolongado a cadeia polimérica terá a possibilidade de se posicionar em novas direções e posições, reduzindo as tensões na interface dente-restauração (DAVIDSON³⁰, 1998; DAUVILLER et al.²⁷, 2000; YAP et al.¹¹⁶, 2000; HOFMANN et al.⁵⁷, 2002).

Assim, os resultados do presente estudo, quanto à contração de polimerização (4 minutos), demonstraram, para as três resinas estudadas, que a técnica do pulso interrompido proporcionou os menores valores de deformação, a polimerização com LED dados intermediários e a luz halógena os maiores valores de contração. Esses achados se relacionam com a forma de polimerização utilizada, uma vez que com a técnica pulso uma pequena quantidade de energia é aplicada inicialmente sobre a resina composta seguida de um intervalo, fazendo com que a reação de polimerização ocorra lentamente. Pode-se, desta forma, inferir que as resinas apresentaram um período pré-gel evidente com esta técnica de polimerização, tendo assim um importante papel na manutenção da ligação adesiva, uma vez que neste período esta se encontra em fase de maturação. Corroborando com estes resultados, trabalhos de BOUSCHLICHER; RUEGGEBERG; BOYER¹¹ (2000), YAP; SOH; SIOW¹¹⁸ (2002), LIM et al.⁷² (2002) também indicaram que esta técnica proporciona uma evidente fase pré-gel nas resinas fotopolimerizáveis.

Após 15 minutos de avaliação, também foi observada a redução na contração de polimerização para as três resinas compostas, com a técnica do pulso interrompido, quando em comparação à técnica convencional com utilização

da luz halógena. Entretanto, com a resina A110 não houve diferença significativa, comparando-se com a polimerização convencional via luz halógena. Assim, como já abordado, a técnica pulso interrompido proporciona à resina composta uma reação mais lenta, fazendo com que a formação das cadeias poliméricas aconteça progressivamente, de forma a gerar cadeias mais longas e com maior peso molecular, reduzindo assim a contração final de polimerização (RUEGGERBERG⁹⁰, 1999; DAUVILLER et al.²⁷, 2000). Este fenômeno vem a corroborar com a afirmação de CEHRELI; CANAY¹⁹ (2002), os quais reportaram que cadeias com alto peso molecular proporcionam menor contração de polimerização em função da menor presença de ligações por unidade de peso. De outro modo, poderia-se aventar a possibilidade da técnica do pulso interrompido proporcionar baixo grau de conversão e, com isso, resultar em menor contração de polimerização. Entretanto, além de ter sido utilizada a mesma energia de ativação (tempo x densidade de potência), trabalhos relacionados na literatura mostram que o mesmo grau de conversão ou as mesmas propriedades mecânicas finais são alcançados quando se compara a técnica do pulso interrompido com a técnica convencional de polimerização (KANCA; SUH⁶⁰, 1999; SAKAGUCHI; FERRACANE⁹⁸, 2001; LIM et al.⁷², 2002). Não obstante estes resultados, os dados obtidos referentes à fotoelasticidade, demonstraram, de forma geral, uma redução significativa na geração de tensões de contração quando a técnica do pulso interrompido foi utilizada, quando comparado com às técnicas convencionais de polimerização (com luz halógena e LED). Desta forma, a utilização da modulação da ativação com intervalo entre os pulsos de energia luminosa, mostra-se como uma maneira viável para minimizar a contração de polimerização das resinas compostas e as tensões geradas na interface dente/restauração. Nesse sentido, os dados do presente estudo corroboram com a teoria atribuída em vários trabalhos na literatura que relatam que a modulação da ativação associada a um intervalo sem luz permite à resina um maior fluxo molecular, possibilitando um maior escoamento das tensões provenientes da contração de polimerização (UNO; ASMUSSEN¹⁰⁷, 1991; KANCA; SUH⁶⁰, 1999; BOUSCHLICHER; RUEGGERBERG; BOYER¹¹, 2000; SAHAFI; PEUTZFELD; ASMUSSEN⁹², 2001;

LUO et al.⁷⁴, 2002; YAP; SOH; SIOW¹¹⁸, 2002; LIM et al.⁷², 2002). Em recente trabalho, realizado por UNO et al.¹⁰⁶ (2003), foi verificado que as técnicas de fotoativação que utilizaram intervalos entre os pulsos proporcionaram um selamento marginal superior aos grupos polimerizados de forma convencional ou em pulsos sem intervalo. Adicionalmente, os autores desse trabalho não observaram diferenças quanto à dureza alcançada em espécimes polimerizados com estas técnicas.

A técnica de polimerização convencional com o LED proporcionou, para as três resinas, valores de contração (15 minutos) significativamente mais baixos do que com a luz halógena. Este fato pode ser atribuído ao grau de conversão da resina composta com este tipo de fonte de luz, pois embora existam diversos trabalhos validando esta nova tecnologia (MILLS⁸², 1995; MILLS; JANDT; ASHWORTH,⁸³ 1999; WHITTERS, et al.¹¹⁵, 1999; STAHL, et al.¹⁰¹, 2000; JANDT, et al.⁵⁹, 2000; FRENTZEN; FÓLL; BRAUN⁴⁷, 2001; MEDEIROS⁷⁸, 2001), estes aparelhos comumente apresentam baixa densidade de potência. Mesmo de posse do conhecimento de que estes aparelhos emitem toda sua energia dentro do comprimento de onda específico da canforaquinona (468nm), estes apresentam densidade de potência mais baixa do que os convencionais à base de luz halógena, estabelecendo, assim, uma redução natural na quantidade de fótons para alcançar a parte mais profunda do espécime. Assim, o aparelho utilizado neste trabalho emitia uma baixa densidade de energia luminosa (130 mW/cm²) e o espécime apresentava uma espessura de 2mm. Desta forma, não se pode inferir que os menores valores de contração de polimerização obtidos pela fotoativação com o LED representam uma nova vantagem destes aparelhos, uma vez que também é necessário considerar que esta contração é diretamente proporcional ao grau de conversão, em específico quando se analisou os 15 minutos iniciais da reação. Fatores estes corroborados com o trabalho de HOFMANN; HUGO; KLAIBER⁵⁸ (2002), que creditaram os mais baixos valores de contração obtidos com o LED (160 mW/cm²), em comparação com uma unidade convencional halógena (800 mW/cm²), à baixa energia luminosa e à menor produção de calor. Quando da comparação entre as técnicas do pulso interrompido, convencional-

halógena e convencional-LED, utilizando a resina A110, a ativação com o LED proporcionou significativamente menores valores de contração, uma vez que por ser uma resina de micropartículas, existe uma maior difusão da luz na porção superficial, enquanto nas regiões mais profundas este material apresenta maior dificuldade de polimerização, face ao baixo coeficiente de transmissão ou difusão de luz (CAUGHMAN; RUEGGERBERG¹⁸, 2002). Isto pode ter favorecido para uma polimerização inicial não homogênea com o LED (em função da menor densidade de potência do aparelho), no sentido do topo para a base do espécime, uma vez que a camada ou volume de material foi estabelecido em dois milímetros de espessura, o que pode ter contribuído para obtenção dos menores valores de contração. Confirmando este entendimento, LEONARD, et al.⁷⁰ (2002) reportaram que o aparelho de LED da primeira geração necessitou de maior tempo de exposição (80-131s) para fotoativar adequadamente uma resina de micropartículas do que uma resina híbrida (61s). Outro aspecto, que pode ter concorrido para obtenção de menores valores de contração de polimerização com o LED, refere ao período de tempo para avaliação, uma vez que 15 minutos de observação talvez seja curto para uma comparação final, pois a reação de polimerização é contínua. Este fato pode ser comprovado quando da análise dos dados obtidos com o método fotoelástico, para mensuração das tensões, pois, de maneira geral, os dois meios de polimerização (LED e halógena-60s) produziram a mesma proporção de tensões nas paredes do modelo fotoelástico e, as mensurações foram feitas a partir de 50 minutos da realização da fotopolimerização, face à indução da real conversão do monômero em polímero. Assim, o LED produz uma reação um pouco mais lenta, em função de sua baixa densidade de potência, porém se iguala com a fonte halógena com o decorrer do tempo.

Nesse sentido, mesmo que os aparelhos de LED apresentem uma baixa densidade de potência, a eficiência quanto ao comprimento de onda faz com que haja uma polimerização adequada, como já reportada na literatura (MILLS⁸², 1995; MILLS; JANDT; ASHWORTH,⁸³ 1999; WHITTERS, et al.¹¹⁵, 1999; STAHL, et al.¹⁰¹, 2000; JANDT, et al.⁵⁹, 2000; FRENTZEN; FÓLL; BRAUN⁴⁷, 2001;

MEDEIROS⁷⁸, 2001). Com a introdução no mercado odontológico dos novos aparelhos à base de LED com maior densidade de potência (por volta de 300-600 mW/cm²), é necessário inquirir sobre a necessidade de se equipar esses aparelhos com comandos ou dispositivos para uma modulação da fotoativação, pois como visto nos dados do presente estudo, as maiores médias de tensões formadas foram com o uso do LED e a luz halógena por 60s.

Portanto, comparando os três meios de fotoativação quanto à formação de tensões, foi verificado que quando uma baixa densidade de luz é aplicada, seguindo-se de um intervalo sem luz, ocorreu uma redução nas tensões geradas pela contração de polimerização. Este período permite, como mencionado anteriormente, um rearranjo molecular de forma que o módulo elástico do material seja progressivamente aumentado, reduzindo assim a velocidade de reação e a geração de tensões. Isto pode promover uma melhor adaptação do material nas paredes da cavidade e, conseqüentemente, favorecer o selamento marginal (BAUSH, et al.⁷, 1982, DAVIDSON; DE GEE; FEILZER³³, 1984; DAVIDSON; DE GEE³¹, 1984; LUTZ, et al.⁷⁵, 1986; FEILZER; DE GEE; DAVIDSON⁴², 1990; FEILZER et al.⁴¹, 1995; GORACCI, et al.⁵², 1996; CARVALHO et al.¹⁷, 1996; DAVIDSON; FEILZER³⁴, 1997; MEHL et al.⁷⁹, 1997; SAKAGUCHI; FERRACANE⁹⁷, 1998; LÖSCHE⁷³, 1999; WATTS; HIND¹¹³, 1999; BOUSCHLICHER; RUEGEBERG¹¹, 2000; CHOI; CONDON; FERRACANE²¹, 2000; FRIEDL et al.⁴⁸, 2000; YOSHIKAWA; BURROW; TAGAMI¹¹⁹, 2001; LIM, et al.⁷², 2002).

A seleção de três diferentes resinas compostas fotopolimerizáveis permitiu observar o comportamento dimensional de materiais com diferentes composições e propriedades, uma vez que estes aspectos relacionam-se com distintos desenvolvimentos de contração e geração de tensões (ASMUSSEN³, 1975; ASMUSSEN², 1985; BOWEN; RAPSON; DICKSON¹³, 1982; GOLDMAN⁵¹, 1983; LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹, 1987; KEMP-SCHOULT; DAVIDSON⁶², 1988; KEMP-SCHOULT; DAVIDSON⁶¹, 1990; VAN MEERBEEK, et al.¹¹⁰, 1993; DAVIDSON³⁰, 1998; DENNINSON, et al.³⁷, 2000).

Os resultados deste estudo evidenciaram que a resina SureFil apresentou os menores valores de contração e de tensões geradas, tendo as resinas Z100 e A110 apresentado os mais altos. Como pode ser observado (Figuras ns. 21 e 25), houve uma certa tendência de correlação entre os resultados de contração e tensões, ou seja, o material com maior grau de contração gerou maior tensão. Esta evidência ficou bastante clara com a resina Bisfil 2B (química), a qual apresentou, entre os materiais pesquisados, os menores valores de contração e, da mesma forma, as menores médias de tensões geradas nas parede do modelo fotoelástico. Como já é de conhecimento, diferentes composições de resinas compostas, como porcentagem e tipo de carga inorgânica, quantidade e tipo de matriz orgânica, presença de diluentes e quantidade e tipo de fotoiniciadores e inibidores, conduzem à diferentes comportamentos quanto ao aspecto de desenvolvimento de módulo de elasticidade e contração de polimerização (ASMUSSEN³, 1975; ASMUSSEN², 1985; BOWEN; RAPSON; DICKSON¹³, 1982; GOLDMAN⁵¹, 1983; LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹, 1987; KEMP-SCHOULT; DAVIDSON⁶², 1988; KEMP-SCHOULT; DAVIDSON⁶¹, 1990; VAN MEERBEEK, et al.¹¹⁰, 1993; DAVIDSON³⁰, 1998; DENNINSON, et al.³⁷, 2000; CHOI; CONDON; FERRACANE²¹, 2000; AW; NICHOLS⁵, 2001; CHEN, et al.²⁰, 2001; ASMUSSEN; PEUTZFELD⁴, 2002).

Dentro deste contexto, sabe-se que a reação de polimerização ocorre em função da ligação inter-molecular dentro da matriz orgânica e que a contração de polimerização é uma consequência da aproximação dessa moléculas monoméricas. Desta maneira, compósitos com alta porcentagem de carga apresentarão menor conteúdo de matriz orgânica e, assim menor contração de polimerização (LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹, 1987). Adicionalmente, materiais com componentes da fase orgânica apresentando alto peso molecular apresentam menores valores de contração de polimerização, uma vez que menos ligações entre monômeros são realizadas (CEHRELI; CANAY¹⁹, 2002). Outro fator que pode apresentar influência no desenvolvimento do módulo elástico e na cinética de contração de polimerização de resinas compostas é o conteúdo de fotoiniciadores (diquetona), co-iniciador (amina terciária) e de inibidor

(hidroquinona), uma vez que estes componentes exercem influência direta na reação de polimerização (ASMUSSEN; PEUTZFELD⁴, 2002; FRANCO; LOPES⁴⁶, 2003). Segundo RUEGGEBERG⁹⁰ (1999), resinas com ausência ou baixa concentração de co-iniciador podem formar radicais livres para induzir o processo de polimerização, entretanto esse ocorrerá em menor velocidade. Da mesma forma, BRAGA; FERRACANE¹⁴ (2002) afirmaram que alterações na concentração do inibidor em uma resina composta podem modificar a velocidade da reação de polimerização, uma vez que cada molécula de inibidor pode inativar duas ou mais cadeias poliméricas. Assim, a conversão molecular ocorre em uma velocidade reduzida, até que o inibidor seja completamente consumido. Dessa forma, no referido trabalho, além de ter sido verificado que o aumento na concentração de inibidor reduziu a velocidade de polimerização de algumas resinas compostas, os autores observaram uma redução na geração de tensões de contração, sem comprometer o grau de conversão final.

Segundo LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE⁶⁹ (1987), a adição de TEGDMA (triétilenoglicol dimetacrilato) nas resinas compostas, como agente mediador da viscosidade das mesmas, resulta em aumento do grau de conversão e, conseqüentemente, maior indução da contração de polimerização do material. Pela comparação das porcentagens de carga das resinas Z100 e SureFil, pode-se verificar que essas apresentam a incorporação de 66% de volume de partículas inorgânicas ou carga, enquanto que a resina A110 contém 40% em volume (SILVA E SOUZA JR.; CARVALHO; MONDELLI¹⁰⁰, 2000; PERFIL TÉCNICO⁸⁷ da A110-3M). Assim, a observação de valores mais altos de contração de polimerização encontrada para a resina Z100 pode ser associado à incorporação de maior porcentagem de diluente (TEGDMA) em sua composição, diferindo nesse sentido da resina SureFil, que embora apresente o mesmo volume de partículas de carga, contém menor quantidade de diluente. Esta observação foi também estabelecida no trabalho de OBICI, et al.⁸⁵, em 2002, salientando que a resina Z100 apresenta o TEGDMA em sua formulação. Face à característica deste diluente, ou seja, baixo peso molecular e alta mobilidade, há promoção de um alto grau de conversão, induzindo um aumento na velocidade da reação de

polimerização, mas, também, uma maior indução da contração de polimerização. Adicionalmente à presença do Bis-GMA (Bisfenol A glicidil metacrilato), a resina SureFil apresenta o UDMA (uretano dimetacrilato), que apresenta um peso molecular maior que o Bis-GMA e o TEGDMA, resultando, segundo CEHRELI; CANAY¹⁹ (2002), em menor contração de polimerização. Em relação às resinas de micropartículas, a incorporação de maior porcentagem de matriz orgânica tem demonstrado valores mais altos de contração de polimerização, como visto nos resultados do presente estudo com a resina A110, fato também corroborado por LAMBRECHETS; BRAEM; VARHERLEREES⁶⁹, 1987 e REES; JACOBSEN⁸⁹, 1989.

Entretanto, existe uma outra visão comumente relatada na literatura, que se relaciona não somente com o valor numérico da contração, mas também com a avaliação das tensões geradas na interface adesiva em função de diferentes composições de resinas compostas. SUH¹⁰³, em 1999, afirmou que uma baixa contração de polimerização observada em uma resina composta, não significa necessariamente baixa produção tensão. Da mesma forma, DAVIDSON; FEILZER³⁴, em 1997, relataram que em um dado valor de contração, o material mais rígido ou com maior módulo de elasticidade, promoverá maior geração de tensões. Assim, um dos fatores comumente relatado, como tendo grande influência no selamento das margens, é o módulo de elasticidade do material, sendo que quanto menor o valor deste, maior será a flexibilidade e, conseqüentemente, maior alívio das tensões durante a reação de polimerização (KEMPT-SCHOUT; DAVIDSON⁶², 1988; 1990; UNTERBRINK; MUESSNEER¹⁰⁸, 1995; DAVIDSON³⁰, 1998; CONDON; FERRACANE²⁴, 2000). Estas afirmações são relacionadas com o trabalho de KEMP-SCHOUT; DAVIDSON⁶², 1988, os quais definem a tensão como sendo o resultado do produto entre o valor da contração e o valor do módulo de elasticidade, conforme é descrito pela lei de Hooke.

Nesse sentido, quando se compara as diferenças nos valores dos módulos de elasticidade das três resinas fotoativadas, Z100, 21 GPA (WILLEMS et al.¹¹⁴, 1992); SureFil, 18,7 GPA (ABE, et al.¹, 2001) e A110, 7,0 GPA (PERFIL

TÉCNICO⁸⁷-3M), verifica-se que estes diferentes módulos não influenciaram nos valores obtidos de tensão pela análise por fotoelasticidade. Como pode ser notado, a resina A110 com menor módulo elástico, proporcionou valores de tensão semelhantes à resina Z100, que apresenta um alto módulo de elasticidade. Por outro lado, a resina SureFil que também apresenta um módulo de elasticidade semelhante ao da resina Z100, proporcionou significativamente os menores valores de geração de tensões, quando comparada com a Z100 e A110. Desta forma, é preciso saber interpretar corretamente a fórmula citada por KEMPT-SCHOUT; DAVIDSON⁶² (1988), para que os dados do presente estudo possam ser compreendidos, pois face à menor rigidez ou módulo de elasticidade da resina A110, poder-se-ia deduzir que a mesma apresentasse menores médias de tensões, devido ao maior potencial de relaxamento ou escoamento do material durante a etapa de polimerização, e que a SureFil, em função de sua maior rigidez, induzisse médias superiores. Corroborando com os dados do presente estudo, D'ALPINO, et al²⁶. (2002), avaliando o selamento marginal, sob microscopia eletrônica de varredura, de restaurações com a resina de micropartículas A110 e com a microhíbrida Z250, verificaram que a primeira (A110) proporcionou maior formação de fendas do que a microhíbrida. Assim, tem-se atribuído grande importância somente para o valor do módulo de elasticidade de um determinado material, esquecendo-se do valor da contração de polimerização. Um exemplo claro, deste fato, é a disseminação do uso de resinas fluidas (*flow*) para serem utilizadas como base de restaurações de resinas compostas, em função do baixo módulo de elasticidade deste tipo de material. Entretanto, como este material possui grande porcentagem de matriz orgânica, a contração de polimerização é muito alta, gerando no final grandes tensões (LABELLA, et al.⁶⁸, 1999) e, conseqüentemente, possibilidade de inefetivar a função do baixo módulo de elasticidade apresentado por estes materiais. Trabalho *in vivo* realizado por VAN DIJKEN; PER HORSTEDT¹⁰⁹, em 1987, mostrou uma evidente superioridade das restaurações feitas com resinas híbridas, quando em comparação às micropartículas, corroborando com o entendimento dos resultados do presente trabalho. Esta superioridade, quanto à adaptação marginal, foi

detectada após uma semana e bastante evidenciada após um ano, com auxílio de microscopia eletrônica de varredura. Ainda dentro deste contexto de relação matriz orgânica/partículas de carga, LABELLA, et al.⁶⁸, em 1999, observaram que as resinas fluidas (*flow*) apresentam uma alta contração de polimerização, inferindo em uma alta produção de tensões na interface adesiva. Da mesma maneira, estas afirmações foram confirmadas com o trabalho de OBICI, et al.⁸⁵, em 2002, que observaram que as restaurações com resina *flow* proporcionaram o dobro de fendas marginais, quando comparadas com resinas híbridas e “condensáveis”. Deste modo, as evidências apresentadas sinalizam que um baixo módulo de elasticidade não significa necessariamente baixa produção de tensões. Portanto, o ideal seria a existência de um material com uma combinação entre um baixo módulo de elasticidade e baixo valor de contração de polimerização, fato corroborado igualmente por CHRISTENSEN et al.²², (1999).

Nesse sentido, os dados obtidos neste estudo indicam que o valor numérico da contração de polimerização tem grande importância no valor final da tensão gerada, uma vez que a resina SureFil apresentou os menores valores de contração de polimerização e, da mesma forma gerou, significativamente, menores tensões nas paredes do modelo fotoelástico do que as duas outras resinas fotoativadas. Da mesma forma, as resinas A110 e Z100 sofreram maior contração de polimerização e, também geraram tensões mais elevadas. Estes achados podem apresentar grande relevância clínica em função da possibilidade de rompimento da ligação adesiva entre dente e resina composta, relacionando-se diretamente com o aparecimento de sensibilidade pós-operatória, trincas em esmalte ou mesmo margens infiltradas. Dentro deste contexto, pode-se correlacionar os resultados obtidos com as considerações de trabalhos clínicos, como de FERRARI; DAVIDSON⁴³ (1996), que observaram infiltração marginal cervical em 70% das restaurações (classe II) realizadas, *in vivo*, com o sistema Z100/Scotchbond Multi Purpose. Da mesma forma, BARATIERI; RITTER⁶ (2001), encontraram presença de sensibilidade pós-operatória em 24% dos dentes restaurados com o sistema Z100/Scotchbond Multi Purpose. Corroborando com

estes aspectos, CHRISTENSEN, et al²². (1999) observaram grande presença de trincas e linhas brancas nas margens de restaurações feitas com a resina Z100.

Conforme pode-se observar pelos resultados, o grupo controle, empregando a resina Bisfil 2B (quimicamente ativada) verificou-se, significativamente, as mais baixas médias de contração e de tensões, quando comparado com as três resinas fotoativadas, tanto no grupo em que se utilizou a polimerização convencional, quanto do pulso interrompido. Estes dados são atribuídos a uma baixa velocidade de polimerização, com evidente fase pré-gel e a uma baixa contração de polimerização, conforme discutido anteriormente.

Assim, a utilização clínica de resinas compostas ativadas quimicamente, não somente em situações de reconstrução coronária de dentes extensamente destruídos (núcleo de preenchimento) ou como base em cavidades tipo Classe II com margem cervical localizada em dentina/cimento, mas também em restaurações tipo Classe I, II, III, IV e V, poderia ser mais amplamente estabelecida. Entretanto, limitações quanto à cor, composição, tempo de trabalho, incorporação de bolhas e incompatibilidade química com alguns sistemas adesivos, não permitem uma ampliação quanto à aceitabilidade pelos profissionais.

Essas limitações fizeram com que BERTOLOTTI⁸, em 1991, propusesse uma técnica, na tentativa de minimizar ou contornar o problema da contração de polimerização. Sugeriu a técnica denominada de contração de polimerização direcionada, que utiliza a associação entre a resina composta quimicamente ativada nas porções mais profundas e a resina fotopolimerizável mais externamente. O objetivo da referida técnica é o de direcionar a contração de polimerização mais para a estrutura dentária do que para o centro da massa do material restaurador e de combinar as vantagens das resinas compostas fotopolimerizáveis inseridas nas áreas superficiais com a contração direcionada das resinas compostas quimicamente ativadas inseridas nas áreas internas das restaurações, utilizando a resina BISFIL-2B (Bisco), recomendada para ser utilizada juntamente com o adesivo dentinário All Bond 2 (Bisco)

Não obstante às possíveis vantagens da técnica proposta por BERTOLOTTI⁸, para minimizar os efeitos negativos decorrentes da contração de polimerização da resina ativada fisicamente, deve-se atentar para o aspecto relacionado à respeito da incompatibilidade da resina quimicamente ativada com os novos sistemas adesivos (frasco único, *self-etching primers* e *all-in-one*), que é explicada pela presença de monômeros acídicos na composição (baixo pH) destes adesivos, que pode comprometer drasticamente o processo adesivo. A justificativa para este fato baseia-se na falta de interação química, pois na porção de adesivo, ora aplicado sobre a estrutura dentária e em contato com oxigênio, o qual não se polimerizará completamente, haverá uma formação de uma camada acídica que estará em contato direto com a resina composta, que será aplicada subsequente (SANARES et al.⁹⁹, 2001; TAY et al.¹⁰⁵, 2001; FRANCO et al.⁴⁵, 2002). Assim, o contato entre as duas superfícies estabelecerá uma reação ácido-base entre monômeros acídicos (da camada não polimerizada em contato com oxigênio) e a amina terciária, a qual se faz presente nas resinas compostas de ativação química, e que é responsável, juntamente com o peróxido de benzoíla, pelo processo de polimerização (COOK; STANDISH²⁵, 1983). Desta maneira, a indução da polimerização desta camada superficial estará prejudicada conduzindo a baixos valores de adesão (SANARES et al.⁹⁹, 2001)

Observa-se pelo exposto e discutido, que existe, de alguma forma, a possibilidade de se controlar o grau de estresse desenvolvido durante a contração de polimerização e que é indispensável o conhecimento da interação dos fatores relacionados com a contração e geração de tensões; como a força de união dos adesivos, a capacidade de fluxo e o módulo de elasticidade da resina composta, o volume de resina inserido na cavidade, a relação superfície aderida/livre, devendo-se associar ainda ao desenho da cavidade (fator C), utilização de bases com cimento ionomérico, a técnica de inserção incremental e ainda o tipo da resina composta (SÁBIO⁹¹, 1996). A busca de uma solução para o problema da contração de polimerização das resinas compostas é constante e está sendo cada vez mais estudada. Portanto, como pôde-se observar neste trabalho, existem condições de minimizar a contração de polimerização, desde que o clínico

conheça as características intrínsecas do material e os procedimentos clínicos capazes de interferir nas forças de contração de polimerização das restaurações com resina composta. Neste direcionamento, pelo presente trabalho pode-se inferir que a associação de uma reação de polimerização mais lenta e baixa contração possibilita aos materiais resinosos uma melhor condição visco-elástica para o favorecimento do selamento marginal de restaurações adesivas, tendo a técnica do pulso interrompido um significativo papel na redução das tensões de contração. Assim, o conhecimento da importância de intervalo entre os pulsos de energia luminosa para favorecer um maior fluxo das moléculas, de forma a reduzir a velocidade de reação da resina composta, faz com que esta técnica (pulso interrompido) produza resultados mais relevantes quanto ao selamento marginal, quando comparada com as outras existentes para a realização de uma polimerização gradual (*soft-start e ramp*), que não apresentam este período sem luz (SAHAFI; PEUTZFELD; ASMUSSEN⁹², 2001).

Entretanto, como a técnica do pulso interrompido implica em tempo operatório descontínuo, não fica muito prático para o clínico confeccionar uma restauração ampla utilizando este método de fotoativação, especialmente em função da necessidade de tempo de espera de três minutos, entre os incrementos de resina, uma vez que a restauração é estabelecida pela técnica incremental (FRANCO; LOPES⁴⁶, 2003). Assim, para aplicar este conceito que envolve a aplicação de pulsos de energia luminosa seguido de um intervalo sem luz, pode-se polimerizar cada porção de resina inserida em uma cavidade com baixa densidade de luz e em um curto período de tempo. Após o término da restauração e ajuste inicial da mesma (período de 3 a 5 minutos), faz-se uma polimerização efetiva com máxima potência do aparelho e por um maior período de tempo (FRANCO; LOPES⁴⁶, 2003). Dentro desta sistemática, pode-se aplicar clinicamente o conceito de polimerização gradual inicial e o de promoção de um adequado grau de conversão final para o material.

Como discutido, a nova tecnologia para fotoativação de materiais resinosos, com o sistema LED, apresentou um perfil de contração de polimerização semelhante ao aparelho convencional de luz halógena, ou seja, uma contração

instantânea, porém em menor intensidade inicial e, gerando também altos índices de tensões, conforme a característica intrínseca de cada resina composta. Não obstante a observação deste efeito desfavorável, confirma-se positivamente seu potencial para a fotoativação de compósitos, haja vista que a instantânea contração de polimerização e os altos valores das tensões geradas, como o ocorrido com a luz halógena, sinaliza para uma similaridade quanto à conversão das unidades monoméricas para formação da cadeia polimérica. Nesse sentido, pode-se inferir que a observação dos conceitos relacionados à polimerização das resinas compostas deve envolver, paralelamente, procedimentos técnicos de ativação gradual, tal como do pulso interrompido, para minimizar os efeitos da contração e magnitude das tensões geradas, uma vez que os aparelhos fotopolimerizadores, tanto de luz halógena como o LED, não demonstraram potencial para minimizar esses efeitos, de forma semelhante à resina composta ativada quimicamente, quando do emprego da técnica convencional de fotoativação.

Conclusões

7. Conclusões

A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- O sistema químico de polimerização produziu os menores valores de contração de polimerização e de tensões;
- Independente da resina composta utilizada, a fonte de luz à base de LEDs induziu menores valores de contração de polimerização do que a fonte de luz halógena, quando aplicados convencionalmente, não obstante ter gerado a mesma quantidade de tensões de contração de polimerização, quando comparado à fonte de luz halógena (técnica convencional);
- A técnica do pulso interrompido reduziu os valores de contração de polimerização das resinas compostas e das tensões geradas, quando em comparação com a técnica convencional de polimerização com o LED e a Luz Halógena;
- De maneira geral e independente do meio de fotoativação, a resina SureFil produziu os menores valores de contração de polimerização e de tensões geradas. Por outro lado, as resinas Z100 e A110 geraram maiores valores de contração e de tensões.

Referências Bibliográficas

8. Referências Bibliográficas

1. ABE, Y. et al. Dynamic elastic modulus of “packable” composites. **Dent. Mater.**, v.17, n.6, p.520-25, Nov. 2001.
2. ASMUSSEN, E. Clinical relevance of physical, chemical, and bonding properties of composite resins. **Oper. Dent.**, v.10, n.4, p.61-73, Spring 1985.
3. ASMUSSEN, E. Composite restorative resins. Composition versus wall-to-wall polymerization contraction. **Acta Odont. Scand.**, v.33, n.6, p.337-44, Nov. 1975.
4. ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A. Influence of composition on rate of polymerization contraction of light-curing resin composites. **Act. Odontol. Scand.**, v.60, n.3, p. 146-54, June 2002.
5. AW, T.C.; NICHOLLS, J.I. Polymerization shrinkage of densely-filled resin composites. **Oper. Dent.**, v.26, n.5, p.498-504, Sept-Oct. 2001.
6. BARATIERI, LN; RITTER, A.V. Four-year clinical evaluation of posterior resin-based composite restorations placed using the total-etch technique. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.13, n.1, p. 50-57, 2001.
7. BAUSCH, J.R. et al. Clinical significance of polymerization shrinkage of composite resins. **J. Prosthet. Dent.**, v.48, n.1, p.59-67, July 1982.
8. BERTOLOTTI, R.L. Posterior composite technique utilizing directed polymerization shrinkage and a novel matrix. **Pract. Periodontics Aesthet. Dent.**, v.3, n.4, p.53-58, Jun-Jul. 1991.
9. BOUSCHLICHER, M. Visible light-curing. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.13, n.1, p.16-17, 2001.
10. BOUSCHLICHER, M.R.; RUEGGERBERG, F.A. Effect of ramped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. **J. Esthet. Dent.**, v.12, n.6, p. 328-39, 2000.
11. BOUSCHLICHER, M.R.; RUEGGERBERG, F.A.; BOYER, D.B. Effect of stepped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. **J. Esthet. Dent.**, v.12, n.1, p. 23-32, 2000.

12. BOUSCHLICHER, M.R.; VARGAS, M.A.; BOYER, D.B. Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. **Am. J. Dent.**, v.10, n.2, p.88-96, Apr. 1997.
13. BOWEN, R.L.; RAPSON, J.E.; DICKSON, G. Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. **J. Dent. Res.**, v.61, n.5, p.654-58, May 1982.
14. BRAGA, R.R.; FERRACANE, J.L. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. **J.Dent.Res.**, v.81, n.2, p.114-18, Feb. 2002.
15. BULLARD, R.H.; LEINFELDER, K.F.; RUSSELL, K.M. Effect of coefficient of thermal expansion on microleakage. **J. Amer. Dent. Ass.**, v.116, n.7, p.871-74, June 1988.
16. BURNS, D. A. et al. Stress distribution surrounding endodontic posts. **J. Prosthet. Dent.**, v. 64, n.4, p.412-18, Oct. 1990.
17. CARVALHO, R. M. et al. A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief. **Oper. Dent.**, v.21, n.1, p. 17-24, Jan.-Fev. 1996.
18. CAUGHMAN, W.F.; RUEGGEBERG, F.A. Shedding new light on composite polymerization. **Oper. Dent.**, v.27, n.6, p. 636-38, Nov-Dec. 2002.
19. CEHRELI, M.C.; CANAY, S. Comparison of post-gel shrinkage strains in light-polymerized composite resins. **J. Prosthet. Dent.**, v. 88, n.5, p.461-66, Nov. 2002.
20. CHEN, H.Y. et al. Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. **Dent. Mater.**, v.17, n.3, p.253-59, May 2001.
21. CHOI, K.K.; CONDON, J.R.; FERRACANE, J.L. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. **J. Dent. Res.**, v.79, n.3; p.812-23, Mar. 2000.
22. CHRISTENSEN, R.P. et al. Resin polymerization problems- Are they caused by resin curing lights, resin formulations, or both? **Comp. Cont. Educ. Dent.**, v.20, n.25, p. 42-54, Nov. 1999.
23. CLAUS-PETER, E. et al. Stress reduction in resin-based composites cured with a two-step light-curing unit. **Am. J. Dent.**, v.13, n.2, p. 69-72, Apr. 2000.

- 24.CONDON, J.R.; FERRACANE, J.L. Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. **J. Am. Dent. Ass.**, v.131, n.4; p. 335-41, Apr. 2000.
- 25.COOK, W.D.; STANDISH, P.M. Polymerization kinetics of resin-based restorative materials. **J. Biomed. Mater. Res.**, v.17, p. 275-82, 1983.
- 26.D 'ALPINO, P.H.P et al. Avaliação da adaptação interna de restaurações de resina composta em função de três técnicas de fotopolimerização. **Pesq. Odontol. Bras.**, v.16, suplemento, p. 154, 2002. /Resumo n. Pa 253/
- 27.DAUVILLIER, B.S. et al. Visco-elastic parameters of dental restorative materials during setting. **J. Dent. Res.**, v.79, n.3, p.818-23, Mar. 2000.
- 28.DAUVILLIER, B.S.; AARNTS, M.P.; FEILZER, A.J. Developments in shrinkage control of adhesive restoratives. **J. Esthet. Dent.**, v.12, n.6, p. 291-99, 2000.
- 29.DAUVILLIER, B.S.; AARNTS, M.P.; FEILZER, A.J. Modeling of the viscoelastic behavior of dental light-activated resin composites during curing. **Dent. Mater.**, v.19, n.4, p. 277-85, June 2003.
- 30.DAVIDSON, C. L. Handling of polymerization stresses in composite restorations. In: **2nd International Symposium**, Italy, p. 22-25, Mar, 1998.
- 31.DAVIDSON, C.L.; DE GEE, A.J. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. **J. Dent. Res.**, v.63, n.2, p.146-48, Feb. 1984.
- 32.DAVIDSON, C.L.; De GEE, A.J. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. **J. Adhesive Dent.**, v.2, n.3, p. 167-73, 2000.
- 33.DAVIDSON, C.L.; DE GEE, A.J.; FEILZER, A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. **J. Dent. Res.**, v.63, n.12, p.1396-99, Dec. 1984.
- 34.DAVIDSON, C.L.; FEILZER, A.J. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. **J. Dent.**, v.25, n.6, p.435-40, Nov. 1997.
- 35.DAVIDSON, C.L.; KEMP-SCHOLTE, C.M. Shortcomings of composite resins in class V restorations. **J. Esthet. Dent.**, v.1, n.1, p.1-4, 1989.

36. De GEE, A.J.; DAVIDSON, C.L.; SMITH, A. A modified dilatometer for continuous recording of volumetric polymerization shrinkage of composite restorative materials. **J. Dent.**, v.9, n.1, p.36-42, Mar 1981.
37. DENNISON, J.B. et al. Effect of variable light intensity on composite shrinkage. **J. Prosthet. Dent.**, v.84, n.5, p. 499-505, Nov 2000.
38. DUNN, W.J.; BUSH, A.C. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. **J. Am. Dent. Ass.**, v.133, n.3; p. 335-41, Mar 2002.
39. FANO, V. et al. Polymerization shrinkage of microfilled composites determined by laser beam scanning. **Biomater.**, v.18, n.6, p.467-70, Mar. 1997.
40. FEILZER, A.; DE GEE, A.J.; DAVIDSON, C.L. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. **J. Dent. Res.**, v.66, n.11, p.1636-39, Nov. 1987.
41. FEILZER, A.J. et al. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. **Eur. J. Oral Sci.**, v.103, n.5, p.322-26, Oct. 1995.
42. FEILZER, A.J.; DE GEE, A.J.; DAVIDSON, C.L. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. **Dent. Mater.**, v.6, n.3, p.167-71, July 1990.
43. FERRARI, M.; DAVIDSON, C.L. Sealing performance of Scotchbond Multi-Purpose-Z100 in Class II restorations. **Am. J. Dent.**, v.9, n.4, p. 145-49, Aug. 1996.
44. FEILZER, A.J.; DE GEE, A.J.; DAVIDSON, C.L. Setting stresses in composites for two different curing modes. **Dent. Mater.**, v.9, n.1, p.2-5, Jan. 1993.
45. FRANCO, E.B. et al. Evaluation of compatibility between different types of adhesives and dual-cured resin cement. **J. Adhesive Dent.**, v.4, n.4, p.1-5, 2002.
46. FRANCO, E.B.; LOPES, L.G. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. **Biodonto**, v.1, n.2, p.1-59, Mar-abr. 2003.

- 47.FRENTZEN, M.; FÖLL, V.; BRAUN, A. Photopolymerization of composite resin using LED technology. **J. Oral Laser Appl.**, v.1, n.3, p. 189-94, 2001.
- 48.FRIEDL, K.H. et al. Marginal adaptation of class V restorations with and without "softstart-polymerization". **Oper. Dent.**, v.25, n.1, p.26-32, Jan-Fev. 2000.
- 49.FUSAYAMA, T. Indications for self-cured and light-cured adhesive composite resins. **J. Prosthet Dent.**, v.67, n.1, p.46-51, Jan. 1992.
- 50.GARBEROGLIO, R.; COLI, P; BRÄNNSTRÖM, M. Contraction gaps in class II restorations with self-cured and light-cured resin composites. **Am. J. Dent.**, v.8, n.6, p.303-7, Dec. 1995.
- 51.GOLDMAN, M. Polymerization shrinkage of resin-based restorative materials. **Austr. Dent. J.**, v.28, n.3, p.156-61, June 1983.
- 52.GORACCI, G. et al. Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restoration. **Quint. Int.**, v.27, n.5, p.355-62, May 1996.
- 53.GRIFFITHS, B.M. et al. Variable polymerization shrinkage and the interfacial micropermeability of a dentin bonding system. **J. Adhesive Dent.**, v.1, n.2, p. 119-31, 1999.
- 54.HANSEN, E.K. Effect of scotchbond dependent on cavity cleaning, cavity diameter and cavosurface angle. **Scand. J. Dent. Res.**, v.92, n.2, p.141-47, Apr. 1984.
- 55.HANSEN, E.K.; ASMUSSEN, E. Cavity preparation for restorative resins used with dentin adhesives. **Scand. Dent. J.**, v.93, n.5, p.474-9, Oct. 1985.
- 56.HEGDAHL, T; GJERDET N.R. Contraction stresses of composite resin filling materials. **Act. Odontol. Scand.**, v.35, n.4, p.191-95, 1977.
- 57.HOFMANN, N. et al. Guidance of shrinkage vectors vs irradiation at reduced intensity for improving marginal seal of class V resin-based composite restorations in vitro. **Oper. Dent.**, v.27, n.5, p. 510-15, Sept-Oct. 2002.
- 58.HOFMANN, N.; HUGO, B.; KLAIBER, B. Effect of irradiation type (LED or QTH) on photo-activated composite shrinkage strain kinetics, temperature rise, and hardness. **Eur. J. Oral Sci.**, v.110, n.6, p. 471-79, Dec. 2002.

59. JANDT, K.D. et al. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). **Dent. Mater.**, v.16, n.1, p. 41-47, Jan. 2000.
60. KANCA, J.; SUH B.I. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. **Am. J. Dent.**, v.12, n.3, p.107-12, June 1999.
61. KEMP-SCHOLTE, C.M.; DAVIDSON, C.L. Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. **J. Dent. Res.**, v.69, n.6, p.1240-43, June 1990.
62. KEMP-SCHOLTE, C.M.; DAVIDSON, C.L. Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations. **J. Dent. Res.**, v.67, n.5, p.841-45, May 1988.
63. KINOMOTO, Y. et al. Comparison of polymerization contraction stresses between self- and light-curing composites. **J. Dent.**, v.27, n.5, p.383-89, Jul. 1999.
64. KINOMOTO, Y. et al. Polymerization contraction stress of resin composite restorations in a model class I cavity configuration using photoelastic analysis. **J. Esthet. Dent.**, v.12, n.6; p. 309-19, 2000.
65. KINOMOTO, Y.; TORII, M. Photoelastic analysis of polymerization contraction stresses in resin composite restorations. **J. Dent.**, v.26, n.2, p.165-71, Mar. 1998.
66. KORAN, P.; KÜRSCHNER, R. Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. **Am. J. Dent.**, v.11, n.1, p.17-22, Feb. 1998.
67. KURACHI, C. et al. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. **Dent. Mater.**, v.17, n.4, p. 309-15, Jul. 2001.
68. LABELLA, R. et al. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. **Dent. Mater.**, v.15, n.2, p. 128-37, Mar. 1999.
69. LAMBRECHTS, P.; BRAEM, M.; VANHERLE, G. Buonocore memorial lecture. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. **Oper. Dent.**, v.12, n.2, p.53-78, Spring 1987.

70. LEONARD, D. et al. Polymerization efficiency of LED curing lights. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.14, n.5, p. 286-95, 2002.
71. LEONARD, D.; CHARLTON, D.G. LED curing lights. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.14, n.4, p. 206-07, 2002.
72. LIM, B.S. et al. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. **Dent. Mater.**, v.18, n.6, p. 436-44, Sept. 2002.
73. LÖSCHE, G.M. Marginal adaptation of class II composite fillings: Guided polymerization vs reduced light intensity. **J. Adhesive Dent.**, v.1, n.1, p.31-9, Spring 1999.
74. LUO, Y, et al. Comparison of pulse activation vs conventional light-curing on marginal adaptation of a compomer conditioned using a total-etch or a self-etch technique. **Dent. Mater.**, v.18, n.1, p. 36-48, Jan. 2002.
75. LUTZ, F. et al. Improved proximal margin adaptation of class II composite resin restorations by use of light-reflecting wedges. **Quint. Int.**, v.17, n.10, p.659-64, Oct. 1986.
76. LUTZ, F.; KREJCI, I.; OLDENBURG, T.R. Elimination of polymerization stress at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. **Quint. Int.**, v.17, n.12, p.777-84, Dec. 1986.
77. MAHLER, D.B.; PEYTON, F.A. Photoelasticity as a research technique for analysing stresses in dental structures. **J. Dent. Res.**, v.34, n.6, p.831-38, Dec. 1955.
78. Medeiros IS. **Dispositivos LED para polimerização de resinas compostas dentais: comparação com outras fontes de luz.** São Carlos, 2001. dissertação (mestrado) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo; 2001.
79. MEHL, A. et al. Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization'. **J. Dent.**, v. 25, n. 3-4, p.321-330, May-Jul. 1997.
80. MENTINK, A.G.B. et al. Qualitative assessment of stress distribution during insertion of endodontic posts in photoelastic material. **J. Dent.**, v. 26, n.2, p. 125-31, Mar. 1998.
81. MIGUEL, A.; De LA MACORRA, J.C. A predictive formula of the contraction stress in restorative and luting materials attending to free and adhered

- surfaces, volume and deformation. **Dent. Mater.**, v.17, n.3, p. 241-46, May 2001.
82. MILLS, R.W. Blue light emitting diodes – another method of light curing? **Br. Dent. J.**, v.178, n.5, p.169, Mar. 1995.
 83. MILLS, R.W.; JANDT, K.D.; ASHWORTH, S.H. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. **Br. Dent. J.**, v.186, n.8, p. 388-91, Apr. 1999.
 84. NOMURA, Y. et al., Thermal analysis of dental resins cured with blue light-emitting diodes (LEDs). **J. Biomed. Mat. Res.**, v.63, n.2, p.209-13, 2002.
 85. OBICI, A.C. et al. Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. **Oper. Dent.**, v.27, n.1, p. 192-98, Jan.-Fev. 2002.
 86. OLIVEIRA, S.A.G.; GOMIDE, H.A. **Fotoelasticidade plana. Material e técnica.** 9º CBECIMAT, p.606-14, Águas de São Pedro, dez. 1990.
 87. PERFIL TÉCNICO, 3M, **Resina A110**, 2002.
 88. PUCKETT, A.D.; SMITH, R. Method to measure the polymerization shrinkage of light-cured composites. **J. Prosthet. Dent.**, v.68, n.1, p. 56-58, Jul. 1992.
 89. REES, J.S.; JACOBSEN, P.H. The polymerization shrinkage of composite resins. **Dent. Mater.**, v.5, n.1, p.41-44, Jan. 1989.
 90. RUEGGEBERG, F.A. Contemporary issues in photocuring. **Comp. Cont. Educ. Dent.**, v.20, n.25, p. 4-15, Nov. 1999.
 91. SÁBIO, S.S. **Avaliação da infiltração marginal de restaurações com resina composta em função do tipo de ativação.** Bauru, 1996. 120p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
 92. SAHAFI, A.; PEUTZFELDT A.; ASMUSSEN, E. Effect of pulse-delay curing on in vitro wall-to-wall contraction of composite in dentin cavity preparations. **Am. J. Dent.**, v.14, n.5, p. 295-96, Oct. 2001.
 93. SAKAGUCHI, R.L. et al. Effects of polymerization contraction in composite restorations. **J. Dent.**, v.20, n.3, p.178-82, June 1992.
 94. SAKAGUCHI, R.L. et al. Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. **J. Dent.**, v.19, n.5, p.312-16, Oct. 1991.

95. SAKAGUCHI, R.L.; DOUGLAS, W.H. Strain gauge measurement of polymerization shrinkage. **J. Dent. Res.**, v.68, n.4, p.977, 1989. /Abstract n.885/
96. SAKAGUCHI, R.L.; DOUGLAS, W.H.; PETERS, M.C.R.B. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. **J. Dent.**, v.20, n.3, p.183-88, June 1992.
97. SAKAGUCHI, R.L.; FERRACANE, J.L. Stress transfer from polymerization shrinkage of a chemical-cured composite bonded to a pre-cast composite substrate. **Dent. Mater.**, v.14, n.2, p.106-11, Mar. 1998.
98. SAKAGUCHI, R.L.; FERRACANE, J.L. Effect of light power density on development of elastic modulus of a model light-activated composite during polymerization. **J. Esthet. Restor. Dent.**, v.13, n.2, p. 121-30, 2001.
99. SANARES, A.M.E., et al. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. **Dent. Mater.**, v.17, n.6, p. 542-46, Nov. 2001.
100. SILVA E SOUZA Jr., MH; CARVALHO, R.M.; MONDELLI, R.F.L. **Odontologia Estética. Fundamentos e aplicações clínicas.** Ed. Santos, 1^a ed., São Paulo, 2000.
101. STAHL, F. et al. Light-emitting diode (LED) polymerization of dental composites: flexural properties and polymerization potential. **Biomater.**, v.21, n.3, p.1379-1385, Jul. 2000.
102. SUH, B. Composite shrinkage stress and its relaxation by the pulse cure technique. In: 2nd **International Symposium**, Italy, p. 26-32, Mar, 1998.
103. SUH, B.I. Controlling and understanding the polymerization shrinkage induced stresses in light-cured composites. **Comp. Cont. Educ. Dent.**, v.20, n.25, p. 34-41, Nov. 1999.
104. TARLE, Z. et al. The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples. **J. Oral Rehabil.**, v.25, n.6, June 1998.
105. TAY, F.R. et al. Effect of delayed activation of light-cured resin composites on bonding of all-in-one adhesives. **J. Adhesive Dent.**, v.3, n.3, p. 207-25, 2001.

106. UNO, S. et al. Effect of slow-curing on cavity wall adaptation using a new intensity-changeable light source. **Dent. Mater.**, v.19, n.2, p. 147-52, Mar. 2003.
107. UNO, S.; ASMUSSEN, E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. **Scand. J. Dent. Res.**, v.99, n.5, p.440-44, Oct. 1991.
108. UNTERBRINK, G.L.; MUESSNEER, R. Influence of light intensity on two restorative systems. **J. Dent.**, v.23, n.3, p.183-89, June 1995.
109. VAN DIJKEN, J.W.V.; HÖRSTEDT, P. Marginal adaptation of composite resin restorations placed with or without intermediate low-viscous resin an SEM investigation. **Acta Odont. Scand.**, v.45, n.2, p.115-23, Apr. 1987.
110. VAN MEERBEEK, B. et al. Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area. **J. Dent. Res.**, v.72, n.10, p.1434-42, Oct. 1993.
111. VENHOVEN, B. et al. Polymerization contraction and conversion of light-cured BisGMA-based methacrylate resins. **Biomater.**, v.14, n.11, p. 871-75, Sept. 1993.
112. VERSLUIS, A.; TANTBIROJN, D.; DOUGLAS, W.H. Do dental composites always shrink toward the light? **J. Dent. Res.**, v.77, n.6, p. 1435-45, June 1998.
113. WATTS, D.C.; HINDI, A.A. Intrinsic soft-start polymerization shrinkage-kinetics in an acrylate-based resin-composite. **Dent. Mater.**, v.15, n.1, p. 39-45, Jan. 1999.
114. WILLEMS, G. et al. A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. **Dent. Mater.**, v.8, n.5, p. 310-19, Sept. 1992.
115. WHITTERS, C.J. et al. *In vitro* evaluation of the InGaN LED as a dental curing device. **J. Dent. Res.**, v.78, n.5, p. 1073, May 1999. Abstract n.307
116. YAP, A.U.J. et al. Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. **Oper. Dent.**, v.25, n.2, p.98-103, Mar-Apr. 2000.

117. YAP, A.U.J.; NG, S.C; SLOW, K.S. Soft-start polymerization: influence on effectiveness of cure and post-gel shrinkage. **Oper. Dent.**, v.26, n.3, p. 260-66, May-June 2001.
118. YAP, A.U.J.; SOH, M.S.; SLOW, K.S. Post-gel shrinkage with pulse activation and soft-start polymerization. **Oper. Dent.**, v.27, n.1, p. 81-7, Jan-Fev 2002.
119. YOSHIKAWA, T.; BURROW, M.F.; TAGAMI, J. A light curing method for improving marginal sealing and cavity wall adaptation of resin composite restorations. **Dent. Mater.**, v.17, n.4, p.359-66, Jul. 2001.
120. YOSHIKAWA, T.; BURROW, M.F.; TAGAMI, J. The effects of bonding system and light curing method on reducing stress of different C-factor cavities. **J. Adhesive Dent.**, v.3, n.2, p.177-83, Summer 2001.

Abstract

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the polymerization shrinkage and stress, comparing the LED light source (130 mW/cm^2) with quartz tungsten halogen (QTH) light source in the conventional mode ($60\text{s} - 600 \text{ mW/cm}^2$) and pulse delay curing mode ($3\text{s} - 200 \text{ mW/cm}^2 + 3 \text{ min} + 59\text{s} - 600 \text{ mW/cm}^2$). Different categories of composite resins were also evaluated, such as Z100 (hybrid), A110 (microfilled), SureFil ("packable") and Bisfil 2B (chemical-cured resin). Silicone molds 2 mm high and 5 mm diameter were used to prepare five specimens for each experimental condition. A strain gauge located under the resin measured the material deformation due to polymerization shrinkage. The stresses were measured by photoelasticity analysis. Butt-joint box-shaped cavities ($5.0 \times 3.0 \text{ mm}$, 2.0 in depth) were prepared in photoelastic transparent resin. Seven specimens were made for each condition. After the insertion and polymerization of the composite resin, they were cross-sectioned perpendicularly to the longitudinal side of the cavity to determine, under polarized microscopic, the contraction stress by means of the observation of fringes in the photoelastic mould walls, which represented the created stress. The shrinkage data were statistically evaluated using two way ANOVA and Tukey tests ($p \leq 0.05$) and for stress data one way ANOVA and Tukey tests ($p \leq 0.05$) were used. It was observed that the chemical-cured system (Bisfil 2B) produced the lower means of polymerization shrinkage and stress; in general, the pulse delay mode reduced the contraction and the stress values when compared to conventional curing modes (LED and QTH); the LED light source produced lower contraction values than QTH light source, when used in conventional mode. However, the LED light source generated the same as stress QTH light source (conventional mode); in general, and independently of the activation mode, the SureFil resin produced lower contraction and stress values than others light-cured resins. Conversely, the Z100 and A110 resins produced the greater contraction and stress values.