

***ESTUDO DO CONTEÚDO DE
PARTÍCULAS INORGÂNICAS, DA
CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DA
RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE MATERIAIS
RESTAURADORES ESTÉTICOS
DIRETOS INDICADOS PARA DENTES
POSTERIORES***

GELSON LUIS ADABO

***ARARAQUARA
2000***

GELSON LUIS ADABO

***ESTUDO DO CONTEÚDO DE PARTÍCULAS INORGÂNICAS,
DA CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DA RESISTÊNCIA
À FLEXÃO DE MATERIAIS RESTAURADORES ESTÉTICOS
DIRETOS INDICADOS PARA DENTES POSTERIORES***

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia
de Araraquara, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para a
obtenção do título de Livre-Docente

ARARAQUARA

2000

Adabo, Gelson Luis

Estudo do conteúdo de partículas inorgânicas, da contração de polimerização e da resistência à flexão de materiais restauradores estéticos diretos indicados para dentes posteriores. Gelson Luis Adabo. Araraquara, 2000.

Tese - Livre-Docência - Faculdade de Odontologia
Universidade Estadual Paulista.

1. Materiais dentários
2. Resinas compostas
3. Estética Dentária.

Dados Curriculares

GELSON LUIS ADABO

NASCIMENTO: 17/07/1961 – SÃO CARLOS/SP

FILIAÇÃO: Geraldo Domingos Adabo

Avelina Carrera Adabo

1979-1982 Curso de Graduação Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

1983–1986 Auxiliar de Ensino do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

1984-1986 Curso de Pós-Graduação em Dentística Restauradora – nível de mestrado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

1986-1989 Professor Assistente do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

1986-1989 Curso de Pós-Graduação em Dentística Restauradora – nível de doutorado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

1989- Professor Assistente Doutor do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

DEDICO ESTE TRABALHO

*À minha esposa ELAINE, amiga e companheira,
pela participação, compreensão e incentivo em
todos os momentos de minha vida.*

*Aos meus filhos, MATHEUS e ANDRÉ, fontes
inesgotáveis de motivação nos campos pessoal e
profissional.*

À memória de meu pai, GERALDO, e à minha mãe, AVELINA, responsáveis pela minha educação e formação para a vida. Seus exemplos estarão sempre à minha frente.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos eternos mestres, Prof. Dr. DEIWES NOGUEIRA DE SÁ, Prof. Dr. FRANCISCO PEDRO MONTEIRO DA SILVA FILHO e Prof. Dr. WILLIAN CELSO RETTONDINI (in memoriam), que me ensinaram desde os conceitos básicos de Materiais Dentários até os princípios éticos e morais relativos ao ensino e à pesquisa.

*Aos colegas da Disciplina de Materiais Dentários,
Prof. Dr. CARLOS ALBERTO DOS SANTOS
CRUZ e Profa. RENATA GARCIA FONSECA, que
muito têm colaborado no decorrer de minha
carreira universitária, pelas sugestões oferecidas
durante o desenvolvimento deste trabalho.*

*Ao amigo Prof. Dr. WELINGTON DINELLI pelas
orientações e conselhos durante a minha
trajetória acadêmica, desde a graduação até o
presente momento.*

À Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP, nas pessoas de seu Diretor, Prof. Dr. RICARDO SAMIH GEORGES ABI RACHED, e seu Vice-Diretor, Prof. Dr. ROBERTO MIRANDA ESBERARD.

Aos colegas do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, pelo incentivo.

Ao funcionário da Disciplina de Materiais Dentários, Sr. MOACIR ALVES NUNES, pela colaboração na confecção de dispositivos para o desenvolvimento da fase laboratorial deste trabalho, e aos demais funcionários do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese pela atenção.

Ao Dr. LUÍS GERALDO VAZ, pelas sugestões, pelo apoio e pela execução do ensaio de resistência à flexão.

Ao Departamento de Físico-Química do Instituto de Química de Araraquara-UNESP e ao Sr. SEBASTIÃO ANÉSIO DAMETTO pelo trabalho de microscopia eletrônica de varredura.

Ao Prof. Dr. LEINIG PERAZOLLI, do Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química do Instituto de Química de Araraquara–UNESP, pela colaboração no desenvolvimento do método de determinação do conteúdo de partículas de carga por volume.

À Sra. MARIA LÚCIA CARNESECA MONTORO pelo trabalho de revisão gramatical.

À Sra. MARTA ALMEIDA DE PONTE SALAZAR pela organização de documentos e digitação.

À Sra. MARIA HELENA MATSUMOTO KOMASTI LEVES pela orientação na organização das referências bibliográficas.

A todas as pessoas que, de alguma maneira, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

Dados Curriculares

Dedicatória

Agradecimentos

1	Introdução	11
2	Revisão da literatura	18
3	Proposição	93
4	Material e método	94
5	Resultado	107
6	Discussão	115
7	Conclusão	154
8	Referências bibliográficas	156
9	Apêndice	177
	Resumo	180
	Abstract	183

1. INTRODUÇÃO

O amálgama prestou e deve continuar prestando importante serviço à odontologia restauradora devido à sua capacidade de vedamento marginal, resistência mecânica, facilidade de manipulação, menor sensibilidade à técnica e seu baixo custo.

Porém, o uso de materiais restauradores estéticos em dentes posteriores tem crescido vertiginosamente na última década, alavancado pelo culto à estética e pela controvérsia sob os pontos de vista biológico e ambiental relativos ao amálgama.

Desde o lançamento comercial da resina composta, no início dos anos 60, o meio odontológico tem assistido a grandes discussões sobre os aspectos técnicos e éticos da substituição dos tradicionais materiais metálicos pelos compósitos, cujas posições antagônicas têm sido defendidas por diferentes correntes de pensamento em nível mundial.

Os fabricantes, por meio de competentes estratégias de marketing, têm levado às mãos dos clínicos novos materiais com a proposta de serem efetivos substitutos estéticos do amálgama, fazendo com que o profissional sinta maior segurança no uso das resinas compostas. A mídia, nos últimos anos, por sua

vez, colaborou para a disseminação dessa idéia no campo leigo, através de publicidade em revistas de circulação geral e publicação de matérias em jornais, rádio e televisão.

Esses fatores fizeram com que os pacientes passassem a solicitar que suas novas restaurações fossem feitas com materiais estéticos e que, também, fossem substituídas suas antigas restaurações metálicas.

É inegável que os compósitos atuais, associados aos modernos sistemas adesivos, apresentam propriedades gerais melhoradas e com resultado clínico mais adequado que as antigas resinas compostas.

Christensen¹⁶ (1998) destaca que a insegurança no uso das resinas compostas em dentes posteriores está relacionada aos resultados negativos experimentados no período anterior à metade da década de 80 e que os materiais modernos gozam de propriedades gerais mais favoráveis ao uso na região posterior.

A literatura tem mostrado trabalhos de avaliação do desempenho clínico de diversos compósitos, abordando diferentes formulações, tipos cavitários, técnicas restauradoras e métodos de avaliação.

El-Mowafy et al.³⁰ (1994), avaliando o comportamento clínico de restaurações de resina composta em dentes posteriores a partir de meta-análise envolvendo publicações entre os anos de 1981 a 1991, concluíram que a performance clínica dos vários materiais estudados foi adequada, apesar do limitado número de trabalhos levantados.

Mair⁶⁴ (1998) apresentou o resultado de dez anos de avaliação clínica de restaurações feitas com três resinas compostas e dois amálgamas, concluindo que nenhuma restauração examinada após o período do estudo apresentou falha que justificasse a substituição.

Mjör⁶⁷ (1997) avaliou a idade e os motivos para a substituição de 2.431 restaurações de resina composta, 1.062 de amálgama e 538 de cimento de ionômero de vidro. Os resultados mostraram que 38% das restaurações de resina composta e 50% das de amálgama e de ionômero de vidro necessitavam troca por cárie secundária. Entretanto, a longevidade média das restaurações foi de 6 anos para a resina composta, 9 anos para o amálgama e 3 anos para o ionômero de vidro.

Raskin et al.⁷⁸ (1999) realizaram avaliação clínica de 100 restaurações feitas com resina composta em molares e pré-molares de adultos jovens, com cavidades de Classe I, em um período 10 anos, observando que somente 2 restaurações falharam quanto à recidiva de cárie, porém poucas mantiveram características funcionais ideais.

Collins et al.¹⁸ (1998), em uma avaliação clínica de 8 anos em 213 restaurações em dentes posteriores, feitas com um amálgama e três resinas compostas, concluíram que 13,7% das restaurações de resina composta falharam contra apenas 5,8% das de amálgama. A cárie secundária e a fratura em bloco foram os principais motivos de falhas nas restaurações com compósitos.

Eley²⁹ (1997) destacou um significativo número de

problemas relativos às resinas compostas, como: maior custo em relação ao amálgama, contração de polimerização, desgaste, sensibilidade à umidade do campo, falha de adesão, infiltração marginal e vida clínica muito menor que o amálgama.

Cheung¹⁵ (1990) afirmou que, ao contrário do amálgama, que apresenta auto-selamento com o tempo, nas restaurações com resinas compostas a fenda marginal tende a persistir e provocar sensibilidade pós-operatória, reações pulpare e cáries recorrentes.

A principal falha clínica parece estar relacionada à ocorrência da cárie secundária, que pode ser consequência da presença de fendas marginais, resultantes da contração de polimerização e da diferença do coeficiente de expansão térmica entre a estrutura dental e o compósito.

A contração de polimerização pode gerar tensão de cerca de 18 MPa ao nível da interface dente/restauração,^{43,70} e exceder a resistência da adesão dos materiais ao esmalte e à dentina, formando fendas marginais.^{2,48,32}

A medida da contração de polimerização tem sido feita por vários pesquisadores^{4,24,41,33,42,97,86,87,77,23,38,105} que, por diferentes métodos, procuram relacioná-la com fatores como a composição das fases orgânica e inorgânica.

Outro aspecto de fundamental importância é a resistência mecânica dos materiais restauradores, principalmente quando indicados para dentes posteriores.

Diversos autores estabelecem limites para a indicação

de resinas compostas na região posterior, restringindo seu uso em cavidades de Classe I e II pequenas. Entretanto, devido à facilidade de uso proporcionada pela foto-ativação e versatilidade dos compósitos, os clínicos têm, na realidade, ampliado largamente as indicações utilizando esses materiais nas restaurações de dentes com maiores perdas de estrutura.

O desgaste e as fraturas em bloco têm sido as maiores causas de fracassos mecânicos desses materiais e, por meio de vários ensaios, pode-se determinar sua resistência e relacionar os resultados com o desempenho clínico das restaurações.

Entre os diversos tipos de ensaios mecânicos, o teste de resistência à flexão tem tido importante papel na projeção da performance clínica dos materiais, uma vez que nesse tipo de ensaio são geradas tensões complexas, combinando as tensões de tração, compressão e cisalhamento.

O meio odontológico anseia por materiais que apresentem propriedades mecânicas que permitam sua indicação segura em cavidades amplas, as quais, assim como a contração de polimerização, estão intimamente relacionadas com a composição dos compósitos.

A influência da composição da fase orgânica sobre as propriedades mecânicas das resinas compostas foi objeto de estudo de alguns pesquisadores^{3,74,75,94}; porém, a literatura^{59,36,11} e os fabricantes dão maior ênfase à composição, forma e concentração das partículas inorgânicas por massa ou volume.

Braem et al.⁹ (1986) postularam que as propriedades

mecânicas estão diretamente relacionadas com o conteúdo volumétrico de partículas de carga. Willems et al.¹⁰⁰ (1993) afirmaram que, para que um material seja indicado para dentes posteriores, deve apresentar módulo de elasticidade igual ou superior ao da dentina, o que é obtido em materiais com concentração de partículas inorgânicas de carga superior a 60%. O mesmo percentual é admitido por Wilson et al.¹⁰³ (1997) como o mínimo para que um compósito seja indicado para restaurações em dentes posteriores.

Recentemente, foram lançados no mercado odontológico novos materiais estéticos para restaurações diretas em dentes posteriores, aos quais são atribuídas propriedades mais apropriadas a essas indicações e com alguma semelhança, no aspecto de condensação, com o tradicional amálgama.

Entretanto, as informações disponíveis são ainda muito escassas, gerando dúvidas quanto à sua real eficácia, sobre quais as diferenças de suas composições e propriedades físicas e mecânicas em relação aos materiais até então disponíveis e se, de fato, apresentam maior eficiência clínica.

Em vista do exposto, pareceu-nos oportuno estudar alguns aspectos importantes na caracterização desses novos materiais, como a contração de polimerização e resistência mecânica, relacionando essas informações com a concentração de partículas inorgânicas, por massa e volume, com o objetivo de colaborar na elucidação de uma parcela das dúvidas que cercam esses materiais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Em 1975, Asmussen² realizou ampla investigação no sentido de estudar a relação entre a composição de resinas compostas e a contração de polimerização. O estudo foi dividido em quatro fases. Na primeira, foram avaliadas 12 marcas comerciais que continham quantidade variável de um a dois monômeros de baixa viscosidade. Na segunda, duas séries de resinas foram preparadas diluindo-se Bis-GMA em quantidades variáveis de TEGDMA ou EDMA. Na terceira etapa, resinas contendo 75% de Bis-GMA e 25% de TEGDMA foram preparadas com quantidades variáveis de partículas (0%, 25%, 50% ou 75% em peso). Finalmente, em outro grupo variou-se a concentração de catalisadores. Cavidades com diâmetros e profundidades de 2,5 mm foram preparadas em dentes humanos extraídos, restauradas e armazenadas por 10 minutos a 37°C. A contração foi determinada por meio de microscópio que media a maior largura da fenda e expressa em termos de porcentual do diâmetro total. Uma correlação positiva entre a largura da fenda e a quantidade de monômero diluente foi encontrada, independente do tipo (TEGDMA ou EDMA). Não foi encontrada diferença estatística em função da quantidade de partículas de carga. Para o fator concentração de

catalisador, houve diferença estatística entre 3% de peróxido de benzoíla e 6% de di-isopropil-p-toluidina.

Hegdahl & Gjerdet⁴³, em 1977, estudaram a contração de polimerização e a tensão gerada durante esse processo. Imediatamente após a mistura, o material foi colocado sobre uma folha de polietileno, em uma cavidade em forma de “V” confeccionada em um bloco de resina acrílica. Um extensômetro foi introduzido no material, através de seus braços, que ficaram imersos 2 mm e separados 13 mm um do outro. A medição teve início 2 minutos após a mistura e continuou por 2 horas. A medida da tensão gerada pela polimerização foi obtida em máquina de ensaios mecânicos Instron. Um tubo de polietileno, no qual a resina era inserida, foi imerso em solução de cera dura e tolueno, com a finalidade de isolar o material. Dois pistões acoplados ao equipamento eram os elos entre a resina composta e a célula de carga que registrava continuamente a força de tração resultante da contração do material. Foi observado que, quanto maior a contração, mais tensão era gerada, porém que esta é baixa se comparada a resistência à tração do esmalte.

Em 1979, Draughn²⁶ realizou estudos com o objetivo de determinar o limite de fadiga compressiva de diversos compósitos comparando os valores obtidos com os de resistência à compressão. Os ensaios de resistência à compressão e limite de fadiga compressiva foram feitos utilizando-se corpos-de-prova

cilíndricos com altura de 5,7 mm e diâmetro de 3 mm, armazenados em água a 37°C durante 2 semanas. Para o ensaio de compressão, os corpos-de-prova foram submetidos à carga até a ruptura, à velocidade de 5cm/min, e para o ensaio de limite de fadiga compressiva, os corpos-de-prova foram submetidos a 5000 ciclos ou até a fratura, empregando-se cargas variáveis, até a determinação de um valor calculado por método estatístico, envolvendo eventos de falha ou não. Os resultados mostraram que a média da razão entre limite de fadiga compressiva e resistência a compressão foi de 0,64 e que, quando a resistência à compressão aumenta, o limite de fadiga compressiva também aumenta.

Thompson et al.⁹⁵, também em 1979, estudaram resinas à base de Bis-GMA com a inclusão de cristais de espiro-ortocarbonetos insaturados, que são monômeros que se expandem durante a polimerização e co-polimerização com o Bis-GMA convencional. Os resultados obtidos da formulação experimental em comparação com os do Bis-GMA indicaram que, de fato, a contração de polimerização é reduzida, podendo ser regulada pelo tamanho e pelo ponto de fusão dos cristais usados para preparar a pasta. Houve aumento da adesão ao esmalte e da dureza e as resistências à tração diametral e à compressão não foram afetadas.

De Gee & Davidson²⁴, em 1981, apresentaram um método para a medição contínua da contração volumétrica de

polimerização de resinas compostas tanto quimicamente ativadas quanto fotoativadas. O dispositivo era basicamente um dilatômetro de mercúrio, com uma câmara que permitia a aplicação de luz. Além disso, o dispositivo possuía um sistema de circulação de água para evitar o aquecimento e conseqüente registro de alterações dimensionais térmicas. O estudo envolvendo duas resinas fotoativadas e uma quimicamente ativada mostrou que os valores de porcentual de contração volumétrica dos materiais situaram-se entre 2,03 e 2,67.

Bowen et al.⁷, em 1982, estudaram a contração de polimerização e a expansão higroscópica de quatro resinas compostas, uma resina acrílica e três resinas compostas experimentais com adição de TEGDMA, HEMA ou silano. Para a confecção dos corpos-de-prova, foi utilizada uma matriz de aço inoxidável com uma cavidade cônica, na qual o material era inserido. Após a polimerização do material, o corpo-de-prova era destacado da matriz e novamente encaixado na mesma, sem a base, com uma pressão padronizada. Como os materiais contraíam, os corpos-de-prova tinham menores dimensões e ultrapassavam a cavidade cônica da matriz. A porção do corpo-de-prova excedente da cavidade era medida em microscópio e a alteração calculada. Em seguida eram pesados e armazenados em água e avaliados periodicamente durante cerca de 1 ano, até que fosse obtida estabilidade. Os resultados mostraram que todos os materiais contraíam durante o endurecimento, tinham o peso aumentado e

expandiam-se durante a imersão em água. Entretanto, somente a resina acrílica e as resinas compostas com adição de HEMA mostraram expansão higroscópica suficiente para compensar a contração de polimerização.

Em 1983, Goldman⁴¹ estudou a contração de polimerização volumétrica de 27 resinas compostas por meio de dilatômetro, com graduação de milímetros, contendo um tubo capilar adaptado ao recipiente para medida da densidade de 0,025 L. Foi determinado, também, o conteúdo de carga inorgânica em massa, a quantidade de carga orgânica pré-polimerizada, o conteúdo de monômeros e a densidade. Os valores de contração de polimerização variaram de 1,67% a 5,68%. Quatro fatores foram considerados importantes: quantidade e tipo de monômero reagente, grau de cura e quantidade de ar incorporado. Materiais com cerca de 60% de carga em volume ou com partículas pré-polimerizadas (carga orgânica) têm redução na contração de polimerização, devido à menor quantidade de monômero reagente. Entretanto, foi observado que seis materiais com elevado percentual de carga apresentaram contração maior de 3% e que um deles mostrou a maior contração entre os materiais fotoativados. Estes resultados foram atribuídos à possível presença de monômeros de baixo peso molecular na composição da fase orgânica.

Cross et al.²⁰ estudaram a relação entre a distribuição

de partículas de carga por tamanho e a interação entre as partículas nas resinas compostas Concise e P-10, em 1983. Os estudo desses compósitos, quimicamente polimerizados e compostos por Bis-GMA e partículas de quartzo triturado, cuja distribuição por tamanho foi determinada por Sedigraph 5000, mostrou que há maior concentração de partículas pequenas e menor tamanho médio na resina composta P-10. Foram determinados a massa das partículas de carga, o volume das partículas secas ou úmidas e a densidade dos compósitos. Com base nesses dados foram obtidos os valores de volume de resina por unidade de massa do compósito e os de volume sem carga por unidade de massa de compósito. Se a relação entre esses valores fosse menor que 1 haveria alta interação partícula/partícula. Foi observado que o compósito com maior proporção de partículas pequenas apresentou melhor umedecimento pela resina o que aumenta a interação entre as partículas.

Em 1985, Li et al.⁵⁹ estudaram o efeito do tamanho e do conteúdo de partículas de carga em algumas propriedades de resinas compostas experimentais. Os materiais foram preparados incorporando-se partículas de borosilicato de bário silanizado em matriz resinosa de polietileno e de polimetacrilato. As duas séries de resinas formuladas tinham como base partículas com tamanho de 2 μm , incorporadas em volumes variáveis de 20%, 40%, 45%, 50% e 53%, ou de 15 μm , em frações volumétricas de 20%, 40%, 50%, 60% e 65%. A análise dos resultados mostrou que o aumento

na concentração de partículas melhorou a dureza, a resistência à compressão e a tenacidade, diminuindo a sorpção de água. O tamanho das partículas de carga parece ter moderada influência sobre as propriedades, tendo as resinas com partículas de 15 µm melhor comportamento quanto à profundidade de polimerização, resistência à compressão, sorpção de água e resistência à abrasão por escovação. Já a dureza, a tenacidade e a resistência ao desgaste pela hidroxiapatita parece não serem afetados pelo tamanho das partículas de carga.

Smith⁸⁹, em 1985, discorreu sobre o desenvolvimento de compósitos para restaurações em dentes posteriores. Considerando os sistemas monoméricos, afirmou que o Bis-GMA, que é o monômero base dos materiais, apresenta alto peso molecular e alta viscosidade. Para permitir a incorporação de partículas, o Bis-GMA é diluído por vários outros monômeros, como o dietileno glicol dimetacrilato e trietileno glicol dimetacrilato. A estrutura, a composição e a polaridade destes monômeros diluentes afetam a contração de polimerização, a sorpção de água, as propriedades mecânicas e a insaturação residual. Monômeros diluentes menos polares ou a síntese de análogos do Bis-GMA poderiam ser menos viscosos e não iriam requerer diluentes. Alguns países europeus têm substituído total ou parcialmente o Bis-GMA por uretano dimetacrilato alifático ou aromático, menos viscosos, com menor sorpção de água e resistentes, porém com menor estabilidade de cor.

Também em 1985, Davidson²² afirmou que a contração de polimerização não pode ser eliminada pelo fabricante. Parte da contração está relacionada com a demanda pela facilidade de manipulação requerida pelo clínico. O aumento na quantidade de carga reduz a contração: porém, para a manutenção da viscosidade, é necessário incorporar mais monômero diluente (TEGDMA) que, por sua vez, produz contração de polimerização maior que a propiciada pelas grandes moléculas de Bis-GMA.

No mesmo ano, Bowen et al.⁸, discorrendo sobre polímeros compostos, destacou que o Bis-GMA, por apresentar peso molecular maior que o metacrilato de metila, mostra menor contração de polimerização e maior viscosidade. Para reduzir a viscosidade do Bis-GMA são adicionados monômeros de dimetracrilato com mais baixo peso molecular. Entretanto, a melhoria da viscosidade aumenta a contração de polimerização. Um caminho para a solução é o aumento na quantidade de partículas de carga. O máximo de concentração de fase inorgânica em volume é obtido pelo emprego de partículas esféricas, distribuídas intermitentemente por tamanho.

Também nesse ano, Söderholm⁹⁰, comentando sobre partículas de carga das resinas compostas, afirmou que muita atenção tem sido dispensada à correlação entre propriedades mecânicas e diferentes frações volumétricas de partículas. Há

correlação positiva entre volume de carga e resistência à compressão, o que se repete em relação ao módulo de elasticidade, particularmente quando a concentração aproxima-se de 80%. Entretanto, a resistência à tração parece não ser influenciada pela quantidade de partículas.

Ainda em 1985, Jensen & Chan⁴⁸ afirmaram que a contração de polimerização tem efeito direto sobre a microinfiltração das resinas compostas. As forças geradas pela contração de polimerização podem produzir fraturas nas margens do esmalte e em outros locais dos dentes, tendo um papel importante na sensibilidade pós-operatória. Estudos de laboratório que medem a flexão de cúspides indicam que restaurações de Classe II deveriam ser polimerizadas incrementalmente para reduzir a deformação do dente. Neste sentido, o uso de restaurações de resina composta por técnica indireta minimiza a intensidade do estresse da contração de polimerização. Segundo os autores, a busca de melhorias dos materiais, no futuro, deverá ser direcionada à redução da contração de polimerização e à expansão higroscópica para ajudar na prevenção de fraturas de esmalte e na diminuição da microinfiltração marginal e da sensibilidade pós-operatória.

Fan³², também em 1985, afirmou que as forças da contração resultante da polimerização das resinas compostas e o efeito desse estresse estão na dependência da resistência adesiva

entre o compósito, o adesivo e a estrutura dental, assim como da resistência coesiva da estrutura dental, do compósito e do adesivo. Quando o estresse interno excede a resistência interfacial, ocorre a falha, na forma de fenda marginal, com a possibilidade de microinfiltração, invasão bacteriana, sensibilidade pulpar e cárie secundária. Essas fendas marginais em cavidades de Classe II poderão ser prevenidas com o uso de compósitos experimentais condensáveis, aos quais é atribuído menor contração de polimerização e maior relaxamento de estresse. Como os adesivos de esmalte e dentina disponíveis têm tido melhorias na resistência adesiva, as falhas coesivas de esmalte merecem maior atenção. Falhas coesivas da resina composta podem ocorrer quando a contração for grande, como no caso das resinas de micropartículas. Estudos de microestrutura de resinas compostas também indicam falhas coesivas na matriz e na interface resina/partícula de carga, sendo a combinação do estresse da contração de polimerização com pressão osmótica da degradação hidrolítica das partículas de carga a causa da falha coesiva nos compósitos a longo prazo. O efeito do estresse da contração de polimerização pode afetar a performance clínica de restaurações de resina composta após meses de serviço clínico.

Ainda nesse ano, Draughn²⁷ comentou que a complexidade do ambiente bucal e a diversidade geométrica de restaurações em dentes posteriores dificultam a definição precisa do processo de falha e sua associação com medidas de

propriedades mecânicas rotineiramente estudadas. O estudo dos mecanismos de fadiga e fratura visam superar essas dificuldades. Tem sido demonstrado que em uma grande variedade de compósitos submetidos a tensão compressiva cíclica a resistência à fadiga é de 66% da resistência limite a compressão. O estudo da velocidade da propagação de trincas, pelo teste de dupla torção, mostrou que a influência do ambiente, como temperatura e umidade, é fator crítico, em condições de baixas tensões. Estudos têm demonstrado que materiais com menor concentração de partículas de carga requerem fatores de intensidade de tensão mais baixos para uma dada velocidade de trinca e que, sob condições sub-críticas de intensidade de tensão, a velocidade de trinca é maior em materiais expostos à água. Observações fractográficas indicam que, em altas velocidades de fratura, o modo de falha é dominado pelas propriedades da matriz polimérica e pelas partículas, enquanto em baixas velocidades, a resistência e a estabilidade da interface matriz-partícula são os fatores controladores. Os autores sugerem que o fator de intensidade de tensão crítica (K_{Ic}) é uma medida útil da resistência dos compósitos, porém que a determinação de fatores de intensidade de tensão sub-crítica pode oferecer uma aproximação realista para a determinação de propriedades mecânicas clinicamente relevantes.

Ferracane et al.³⁶ realizaram estudo, em 1985, com o objetivo de determinar os efeitos da concentração de carga e do

grau de conversão na resistência à compressão e no escoamento de 21 resinas compostas. Para a determinação do conteúdo de carga por peso e volume, dois corpos-de-prova de cada material foram pesados e medidos para o cálculo do volume e da densidade. Após, foram aquecidos em forno à temperatura de 800°C durante 30 minutos e pesados novamente em balança com precisão de 0,0001 g, determinando a quantidade de carga em peso. Para a determinação do conteúdo em volume, as amostras, após o aquecimento, foram moídas e suspensas em solventes orgânicos de densidade conhecida. Uma quantidade de 1 mL da suspensão foi tomada com pipeta e pesada para determinar a densidade do solvente e da partícula. Com base nos dados obtidos, foi possível calcular a densidade da partícula e chegar à fração volumétrica. O grau de conversão foi determinado por meio de espectrometria infravermelho. O ensaio de resistência à compressão foi feito à velocidade de 0,127 mm/min e o limite de escoamento determinado. Para o teste de escoamento sob compressão, os cilindros de material foram medidos com precisão de 0,01mm e submetidos à pressão de 36 MPa, e as alterações dimensionais monitoradas por meio de extensômetro após 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240 e 1.440 minutos. Os resultados mostraram que não houve correlação significativa entre grau de conversão e volume de partículas, bem como entre escoamento sob compressão e grau de conversão. Houve correlação positiva entre volume de partículas e limite de escoamento e entre fração volumétrica de carga e escoamento sob compressão.

Em 1986, Lutz et al.⁶¹ discutiram os possíveis vetores de contração de polimerização da resina composta e propuseram uma técnica de polimerização de resinas compostas ativadas por luz com o objetivo de reduzir a tensão de polimerização nas margens de cavidades de dentes posteriores. Com base no desenvolvimento da cunha reflexiva, propuseram a inserção e a polimerização da resina composta em três incrementos, sendo o primeiro colocado na região cervical da caixa proximal com polimerização indireta por meio da incidência de luz através da cunha reflexiva. O segundo incremento, de maior volume, foi colocado ao longo da parede bucal, e o terceiro inserido junto a parede lingual, polimerizados lateralmente. Finalmente, o remanescente oclusal foi polimerizado nesta direção. Esse método foi combinado ou não com outros procedimentos, como uso de adesivos e forramentos com cimentos de ionômero de vidro, compondo quatro diferentes métodos de restauração, comparados por teste *in vitro* realizado em molares humanos extraídos. Após, as restaurações foram submetidas a ciclagem mecânica com força de 72,5 N e frequência de 1,6 Hz, durante 5.000 ciclos. Em seguida, os dentes foram ciclados termicamente em temperaturas de 5° e 55°C, por 2.500 vezes. Ao final, os autores concluíram que a técnica de polimerização proposta, associada a uso de adesivos e base de cimento de ionômero de vidro, melhorou a qualidade e a estabilidade da adaptação marginal. Entretanto, afirmaram que futuras melhorias na resistência adesiva ao esmalte e à dentina não resolverão os problemas de adaptação, pois o estresse da contração da resina excederá as forças de coesão dos tecidos dentais duros. Até que

resinas restauradoras com menor contração de polimerização estejam disponíveis, os profissionais são responsáveis pela superação das deficiências dos atuais materiais através do uso de sofisticados procedimentos técnicos.

Também em 1986, Braem et al.⁹ apresentaram um método para a determinação do módulo de Young dinâmico, não destrutivo. Corpos-de-prova, com 35 mm X 5 mm X 1,5 mm, na forma de viga, foram construídos, montados sobre dois apoios e submetidos à vibração. A frequência fundamental sob flexão foi calculada e, com base nesse dado e em outros parâmetros, como a densidade do material e o raio do giro nos apoios, foi determinado o módulo de Young. Foram feitas medidas em dois tempos: 24 horas após a polimerização do material e depois de 3 meses de armazenagem. Para os 41 produtos estudados, os valores do módulo de Young variaram de 5.436 MPa a 25.117 MPa e a armazenagem teve efeito de significância variável em função do material. A partir do porcentual volumétrico de partículas inorgânicas, obtido na literatura, foi realizada análise de regressão exponencial, mostrando coeficiente de correlação de 0,92 e evidenciando que o módulo de Young parece ser dependente da fração de partículas em volume.

A influência do tipo de partícula e da exposição à água sobre a resistência à flexão de compósitos experimentais foi estudada por Calais e Söderhom¹¹ em 1988. Um dos materiais

apresentava partículas de quartzo e tamanho de 5 μm a 40 μm ; outro, partículas de vidro de bário (5 μm a 20 μm), e o último, partículas porosas de sílica (média de 5 μm). Para o ensaio de flexão, corpos-de-prova foram confeccionados na forma de viga, com as seguintes medidas 30 mm x 5 mm x 1,5 mm. Após abundante fotopolimerização, os corpos-de-prova foram transferidos para um forno a 60°C, durante uma semana. Após este período, os corpos-de-prova foram divididos em sete grupos de seis réplicas cada. Seis grupos foram armazenados em recipientes plásticos contendo 5 mL de água deionizada e colocados em forno a 60°C e um grupo foi submetido imediatamente ao ensaio de flexão. Os grupos armazenados foram testados em períodos de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 meses. Foi observado que houve tendência à redução da resistência, com a armazenagem em água, dos materiais contendo sílica amorfa ou apenas fase resinosa. Para o material contendo partículas de vidro de bário, o efeito foi observado no período de 3 meses, enquanto para o material cujas partículas são de quartzo nenhum efeito foi detectado estatisticamente.

Também em 1988, Feilzer et al.³³ estudaram a contração de polimerização volumétrica de 26 resinas compostas e de 2 cimentos de ionômero de vidro. O método empregou dilatômetro dotado de transdutor de deslocamento sem contato, e os dados foram registrados em diferentes tempos (30 segundos, 1, 5, 10 e 30 minutos, 1, 12 e 24 horas). Os resultados mostraram

que os materiais apresentavam uma crescente contração volumétrica ao longo do tempo de observação. Não foi possível relacionar os valores experimentais com base na formulação, nos sistemas de iniciadores ou na classificação, pois a análise é complexa por depender de diferentes fatores, como tipo de monômero, concentração de catalisadores e/ou iniciadores, quantidade, tipo, tamanho e cobertura da partícula de carga.

Ainda em 1988, Hay & Shortall⁴² avaliaram a contração e a cinética da reação de polimerização de três resinas compostas ativadas quimicamente. Dois métodos para a determinação da contração volumétrica de polimerização foram comparados: um, em que foi empregado dilatômetro, e outro, em que foi empregado dispositivo pelo qual a densidade do material era determinada e monitorada em diferentes intervalos de tempo até 20 minutos após a mistura das pastas. Por este método, os corpos-de-prova eram imersos em água; por meio de microbalança, a massa era determinada em diferentes momentos e, ao final, o espécime era pesado em ambiente seco para o cálculo da densidade em cada tempo. Para o estudo da cinética da reação, as alterações térmicas durante a presa foram determinadas por um ensaio de varredura diferencial calorimétrica. Os resultados obtidos mostraram que houve concordância entre os dados colhidos pelos métodos de determinação direta da densidade e os da dilatometria, sendo alguma diferença atribuída a variações na mistura das pastas ou por terem sido usadas diferentes partidas de materiais.

Ainda nesse ano, Walls et al.⁹⁷ estudaram a contração de polimerização de resinas compostas fotoativadas por meio de um transdutor de mínima carga. Paralelamente, foi determinado o porcentual de partículas de carga por peso e a exotermia medida por diferencial de análise térmica. Houve uma marcante diferença entre a contração dos materiais, que variou de 1,91% a 2,93%. Quanto mais carregado o material, menor a contração de polimerização. Houve baixa correlação entre exotermia e contração de polimerização. Foi observado também que a correlação entre conteúdo de carga e contração de polimerização pode ser imprecisa para os materiais de micropartículas, uma vez que não é considerado o efeito das partículas pré-polimerizadas.

Rees & Jacobbsen⁸¹, em 1989, estudaram a contração de polimerização volumétrica de resinas compostas. Foi proposto o uso de um dilatômetro com água, em vez de mercúrio, por ser mais seguro quanto aos aspectos de higiene industrial. O aparato consiste de um capilar uniforme com 200 mm de comprimento adaptado a densímetro de 25 cm³. Dois diferentes diâmetros de capilares foram utilizados, 0,35 mm e 0,70 mm, com graduação em divisões de 1 mm. Para a ativação das resinas fotopolimerizadas, o equipamento foi coberto com uma fita escura, visando impedir a polimerização prematura, e, por meio de uma pequena abertura de 1,5 cm², foi feita a irradiação para a polimerização. Foram registrados valores de contração mais elevados quando usado o capilar de 0,70 mm. Ao final, concluíram que o método proposto,

além de não usar mercúrio, dispensa equipamento eletrônico para monitoração, mostrando-se simples e preciso.

Koenigsberg et al.⁵⁵, também em 1989, estudaram o efeito de três diferentes técnicas de inserção da resina composta sobre a infiltração marginal em cavidades de classe II, em dentes humanos posteriores extraídos. Todos os dentes foram preparados com aplicação de cimento de hidróxido de cálcio e adesivo Scotchbond e restaurados com a resina composta P-30. As técnicas de inserção estudadas foram: colocação em bloco polimerizado por 60 segundos, três incrementos no sentido cérvico-oclusal, cada um polimerizado por 40 segundos, e três incrementos no sentido buco-lingual, polimerizados da mesma forma. Após restaurados, os dentes foram submetidos à ciclagem térmica e armazenados em solução de fucsina básica por 24 horas, para serem preparados para a avaliação da infiltração, que foi classificada em escores. Os dois métodos de inserção e polimerização incremental levaram a uma menor infiltração de corante nas margens cervicais em comparação com o método de polimerização em um único bloco. Os menores níveis de infiltração foram encontrados nas margens oclusais, entre todas as técnicas, porém nenhum método foi capaz de selar perfeitamente as margens da restauração.

Letzel⁵⁸, no mesmo ano, publicou uma avaliação clínica comparando restaurações de amálgama com restaurações de

resina composta Occlusin. Um multicentro composto de 12 centros restaurou 232 dentes com amálgama e 932 com resina composta, em cavidades de Classe I e II. Após 4 anos, 76% dos pacientes foram avaliados, contando com 71% das restaurações. Destas, 12 de amálgama e 92 de resina composta foram consideradas falhas, havendo uma maior proporção de fracassos para a resina. A maior causa das falhas para a resina composta foi relacionada à perda de material e à cárie recorrente.

Em 1990, Wilson et al.¹⁰² realizaram uma extensa discussão sobre o uso de resina composta em dentes posteriores, afirmando que esse tipo de restauração está sujeito a três grandes forças destrutivas: umidade, contração de polimerização e desgaste clínico, as quais podem produzir a microinfiltração e a deterioração da ligação silano/partícula e carga/matriz. Apesar da extrema sensibilidade à técnica, o conhecimento da tecnologia das resinas compostas e sólidos princípios de dentística operatória podem produzir, efetivamente, restaurações cosméticas duráveis.

McLean⁶³, também em 1990, publicou artigo em que discute as causas das falhas das restaurações e o que se pode fazer para prevení-las. Quanto ao amálgama, afirmou que é o material mais empregado entre todos e que falha mais por microinfiltração e cárie secundária do que por deficiência mecânica. A falha mecânica ocorre devido a preparo cavitário incorreto e pela baixa resistência à flexão. Além disso, a corrosão

e o escoamento são importantes causas de fracassos. As resinas compostas, por sua vez, falham principalmente em dois aspectos: resistência ao desgaste e integridade marginal. A perda da adesão pode ser causada pela alta contração da fase resinosa, que provoca estresse na interface dente/resina. A longo prazo, a quebra hidrolítica entre partícula e matriz ou resina e dente pode provocar infiltração ou desgaste em áreas de alta tensão oclusal. Além disso, a técnica é sensível, sendo a adesão à dentina cervical uma área de falhas freqüentes devido ao uso incorreto de agentes adesivos.

No mesmo ano, Mjör et al.⁶⁸ estudaram a longevidade de restaurações em dentes posteriores, com base em estudos presentes na literatura, e afirmaram que 50% das restaurações de amálgama duram mais de 8 a 10 anos. As resinas compostas têm sido usadas em dentes posteriores há pouco tempo, sendo os dados portanto, escassos. Melhorias alcançadas na qualidade das resinas compostas levou a A.D.A. a desenvolver um programa de aceitação desses materiais, exigindo que, em 5 anos, apresente o mínimo de 90% de manutenção aceitável da cor e do manchamento marginal, que a degradação e o desgaste não devem exceder 250 μm e 90% não devem apresentar perda do contato proximal. Ao final, alertaram sobre o estudo de longevidade prover base para a seleção de materiais e técnicas.

Chung e Greener¹⁷, também em 1990, estudaram a

correlação entre grau de conversão, concentração de partículas de carga e propriedades mecânicas de sete resinas compostas para dentes posteriores. A porcentagem de carga, em peso, foi determinada por técnica gravimétrica por queima, pela qual os corpos-de-prova eram pesados antes e após a eliminação da fase orgânica, em forno a 700°C, variando de 66,4% a 85,2 %. A fração volumétrica de carga foi estabelecida pela densidade da resina composta e das partículas, situando-se entre 58,2% e 74,2% em volume. O grau de conversão obtido ficou na faixa de 43,5% a 73,8%. Significante correlação foi observada entre fração volumétrica de partículas, resistência à tração diametral e dureza Knoop, enquanto não foi denotada correlação entre grau de conversão e resistência à compressão. Foi concluído, portanto, que a concentração de partículas de carga tem importante papel em determinadas propriedades das resinas compostas contemporâneas.

Hosada et al.⁴⁵, ainda em 1990, realizaram extenso estudo sobre partículas de carga de 24 resinas quimicamente ativadas, de 21 ativadas por luz para dentes anteriores, de 3 ativadas por luz para anteriores e posteriores e de 18 ativadas por luz para dentes posteriores. Foi feita a caracterização por meio de microscopia eletrônica de varredura e a análise qualitativa por meio de energia dispersiva de elétrons (EDX) e porcentual de partículas, em massa, por queima a 570°C. A partir da microscopia eletrônica de varredura, foi feita classificação em cinco grupos:

tradicional, micropartícula, sub-micropartícula, híbrida, semi-híbrida. Com base nas observações feitas, os autores discorreram sobre as características dos diferentes materiais, sugerindo as indicações de cada grupo.

Nesse mesmo ano, Cheung¹⁵, fez uma revisão de técnicas clínicas para redução da infiltração marginal em restaurações de resina composta, destacando que a contração de polimerização e a adesão deficiente às paredes cavitárias são suas causas principais. Ao contrário do amálgama, que apresenta auto-selamento com o tempo, nas resinas compostas, a fenda marginal tende a persistir e a provocar sensibilidade pós-operatória, reações pulpares e cáries recorrentes. Muitas técnicas têm sido propostas procurando limitar o efeito da contração de polimerização e/ou melhorando a adesão à estrutura dental. A introdução da técnica de ataque ácido tem sido muito eficiente em margens terminadas em esmalte, porém a adesão à dentina não alcançou o estágio de poder resistir à força de contração sem a ruptura de alguma porção marginal. A técnica incremental parece ser efetiva para reduzir, mas não eliminar a infiltração marginal. O desenvolvimento de uma resina composta sem contração de polimerização ou ligeira expansão parece ser a solução ideal para esses problemas.

Wet et al.⁹⁸, em 1991, estudaram o efeito da técnica de inserção na adaptação marginal de resinas compostas posteriores. Foram avaliadas três resinas compostas: Distalite, Heliomolar e

P30. Foram preparadas cavidades de Classe II em molares humanos extraídos e realizado condicionamento com ácido fosfórico a 37%, por 20 segundos, não tendo sido utilizado nenhum adesivo. As cavidades foram restauradas por três diferentes técnicas: inserção em bloco polimerizado por 60 segundos; inserção em três camadas horizontais, de até 2 mm de espessura, polimerizadas por 60 segundos por camada; e 3 camadas verticais, também polimerizadas por 60 segundos cada uma. Após, os dentes foram seccionados e preparados para análise em microscopia eletrônica de varredura. Foram observadas fendas em todas as restaurações com os diferentes materiais e técnicas de inserção. A técnica de inserção em bloco levou a maiores discrepâncias marginais em comparação com as técnicas incrementais horizontal e vertical, que foram similares entre si. As resinas de micropartículas propiciaram adaptação marginal mais pobres que a resina P30. A adaptação na margem oclusal foi mais adequada que no assoalho da cavidade e na parede gengival.

Também em 1991, Sakaguchi et al.⁸⁶ mediram a contração de polimerização de três resinas compostas, com três cores diferentes cada uma, por meio de sensor de deformação (*strain gauge*). Para o teste, o sensor (*strain gauge*) foi colocado na superfície de discos dos compósitos, de 6 mm de diâmetro e 1,0 mm de espessura, que eram estabilizados por lâminas de vidro para manutenção do corpo-de-prova em um plano. A luz era aplicada e as alterações dimensionais eram registradas, em plano

paralelo ao *strain gauge*, durante 60 segundos. A exotermia relativa da reação química de polimerização também foi registrada. A resina composta P-50 apresentou as mais baixas contração e exotermia, e o compósito Silux Plus cinza escuro contraiu menos que as demais resinas em cores mais claras.

Puckett e Smith⁷⁷, em 1992, propuseram um método para medir a contração volumétrica de polimerização de resinas compostas polimerizadas por luz, o qual é uma variação do método D792 da ASTM (gravimetria e densidade específica de plásticos por deslocamento). Corpos-de-prova cilíndricos, com 1,5 cm de diâmetro e 2 mm de espessura, foram obtidos a partir de uma matriz plástica, na qual a resina foi inserida e modelada. Em seguida, a resina composta, na forma de disco, sem polimerização, foi removida da matriz; um fio de aço inoxidável de massa conhecida foi adaptado ao material e o conjunto pesado. Um recipiente contendo água destilada foi colocado na balança e o disco foi pesado imerso em água. Com base nos valores da massa do material ao ar e imerso, foi calculada a gravimetria específica da resina composta não polimerizada. Outros corpos-de-prova foram confeccionados da mesma maneira, porém a resina composta era polimerizada por luz. Através da relação entre os valores de gravimetria específica das resinas não polimerizada e polimerizada, foi calculado o percentual de contração de polimerização.

Nesse mesmo ano, Sakaguchi et al.⁸⁷ estudaram a contração de polimerização de quatro resinas compostas (Silux Plus, Heliomolar, Herculite XR e P-50). Foram utilizados anéis de resina acrílica com diâmetros interno de 6,0 mm e externo de 9,0 mm, com altura de 2,0 mm, dentro dos quais o material era inserido e mantido em posição por lâminas de vidro nas extremidades. Dois sensores de deformação (*strain gauge*) foram acopladas, sendo um na área correspondente à abertura inferior do anel e outro em sua periferia. Antes da inserção do material, as paredes internas do anel eram atacadas por clorofórmio e aplicava-se adesivo dentinário. A resina composta era, então, colocada no anel, e a lâmina de vidro superior era isolada com vaselina e outro *strain gauge* era acoplado nessa área. O material era polimerizado por luz durante 60 segundos, e os dados registrados durante 14 minutos. A tensão resultante foi calculada multiplicando-se os valores de deformação obtidos pelo módulo de elasticidade do anel (resina acrílica). Os resultados evidenciaram que, numericamente, o menor percentual de contração foi obtido para a resina composta Heliomolar e que o material P-50 gerou os maiores valores de tensão, porém que estatisticamente não foram diferentes.

Ainda em 1992, Peutzfeldt e Asmussen⁷⁴ investigaram a influência da adição de cetona bifuncional à mistura de monômeros em algumas propriedades mecânicas de compósitos experimentais. Foram testadas 14 diferentes formulações – uretano dimetacrilato (60 a 75%), 2-hidroxietil metacrilato (20 a 25%),

canforoquinona, N,N-cianoetil- metilanilina e partículas de vidro silanizado, a base de todas as formulações, sendo incorporado um ou mais dos seguintes componentes: metacrilamida, metacroleína, acetilacetona, diacetil, 2,5-Hexanedione e metil vinil cetona. Os ensaios mecânicos mostraram que a adição da cetona bifuncional diacetil aumentou a resistência à tração diametral em 11%, a resistência à flexão em 29%, o módulo de elasticidade em 19% e o módulo de resiliência em 50%.

Também em 1992, esses mesmos autores⁷⁵ publicaram um estudo complementar, em que foram testadas 12 formulações, sendo 6 à base de BISGMA e TEGDMA e 6 à base de HEMA e UEDMA, tendo-lhes sido incorporadas quantidades variáveis de 0% a 40% de diacetil. Os resultados mostraram correlação positiva entre conteúdo de diacetil e resistência à tração e flexão e módulo de elasticidade. A adição de diacetil não influenciou o módulo de resiliência significativamente. As resinas à base de HEMA e UEDMA foram superiores às formuladas com Bis-GMA e TEGDMA. Observaram que a concentração ótima de diacetil 24%, gerava melhoria de cerca de 25% nas propriedades mecânicas.

Willens et al.¹⁰⁰, em 1993, realizaram um extenso estudo que envolveu 89 materiais e que teve como objetivo caracterizar e propor uma classificação para as resinas compostas com base em dados fornecidos pela literatura, pelos fabricantes, bem como por ensaios realizados pelos autores. Para tanto foi

estudado o tamanho e a distribuição de partículas utilizando tecnologia de difração por laser e módulo de young dinâmico não destrutivo. A partir deste ensaio, a porcentagem volumétrica de carga foi determinada teoricamente, com base nos estudos de Braem et.al.⁹ Também foi estudada a rugosidade superficial intrínseca, através de escovação, dureza Vickers, radiopacidade, resistência à compressão e à fratura, desgaste e dureza das partículas de carga por nanoindentação. Em função do grande número de dados levantados, os 89 materiais foram classificados em 5 categorias: resinas compostas adensadas, resinas compostas microfinas, miscelânea de resinas compostas (híbridas), resinas compostas tradicionais e resinas compostas reforçadas com fibras. Entre as resinas compostas adensadas, podem ser encontrados 2 tipos de partículas: ultrafinas (com menos de 3 μm) e finas (com mais de 3 μm). Além disso, essa categoria de materiais pode variar de acordo com a concentração volumétrica de partículas: médio carregamento (menos de 60%) ou carregamento compactado (mais de 60%). As resinas compostas microfinas podem ser de 5 diferentes tipos e podem também estar combinadas com as resinas adensadas, gerando várias resinas compostas híbridas. Concluíram que as resinas compostas terão um futuro promissor se os procedimentos técnicos forem meticulosamente seguidos e se os limites das indicações forem conhecidos e respeitados. A adequada seleção dos casos e a padronização de procedimentos são fundamentais no sucesso a longo prazo das restaurações com resinas compostas. Entre os materiais estudados, as resinas

compostas adensadas (mais de 60% de porcentual volumétrico de carga) e de partículas ultrafinas (menos de 3 μm) são as indicadas para dentes posteriores.

Eick et al.²⁸, em 1993, discorreram sobre o futuro dos adesivos e das resinas sem contração de polimerização. Quanto aos adesivos, afirmaram que a eficiência da adesão depende da capacidade de molhamento, da penetração do sistema adesivo na dentina, da reatividade do substrato dentinário tratado, além da estrutura do colágeno após a desmineralização. Com relação às resinas sem contração de polimerização, tem sido estudada uma nova matriz com a combinação de um polímero de alta performance, cuja base é um espiro-orto-carbonato, que se expande durante a polimerização e que, se combinado com monômeros tradicionais tais como o bis-GMA e TEGDMA, reduz a contração sem, contudo, eliminá-la. Outra alternativa em estudo é a associação do espiro-orto-carbonato com co-monômeros epoxi, que melhora as propriedades mecânicas, sorção de água e solubilidade, apresentando grau de polimerização aceitável.

Também nesse ano, Willems et al.¹⁰¹ realizaram um estudo sobre desgaste diferencial entre o esmalte e cinco resinas compostas, sendo uma de partículas ultrafinas mediantemente carregada, uma de partículas finas de carregamento compactado e as demais de partículas ultrafinas de carregamento compactado. O desgaste foi avaliado por uma técnica de medida em três

dimensões, em réplicas de resina epoxi, após 6 meses, 1, 2 e 3 anos. Foram obtidos os seguintes valores médios de desgaste: 156 μm para a resina com carregamento compactado de partículas finas, 154 μm para as de partículas ultrafinas de médio carregamento e 47 μm a 62 μm para as resinas de carregamento compactado e partículas ultrafinas. Os autores concluíram que muitos fatores podem estar envolvidos no processo de desgaste, sendo a interação entre conteúdo, tamanho, forma e dureza das partículas, ao lado de desintegração química, propriedades físico-mecânicas e rugosidade superficial, fatores determinantes no processo de desgaste das resinas compostas.

Em 1994, Kaufman⁵⁰ descreveu a composição da resina composta Z-100 (3M) afirmando que este novo compósito incorpora partículas minerais de zircônio/sílica sintética. Observou que o método de produção pode gerar grãos extremamente finos, com capacidade de absorver energia e interromper a propagação de fraturas através das partículas. Além disso, que as partículas aceitam a aplicação do sistema interfacial de cobertura por silano, resultando em forte adesão à matriz resinosa. As partículas são moídas para produzir uma larga e contínua distribuição homogênea com tamanhos na faixa de 3,5 μm (máximo) a 0,01 μm (mínimo), permitindo formular material com muito alto conteúdo de carga inorgânica (79% em peso e 66% em volume). Observou, ainda, que a morfologia esférica das partículas também contribui para uma lubrificação inerente da pasta restauradora o que torna possível

aumentar o conteúdo de carga sem sacrificar as características de manipulação e facilitar o polimento.

Crispin et al.¹⁹, em 1994, discorrendo sobre composição das resinas compostas, comentaram que as partículas inorgânicas, responsáveis pela melhoria das propriedades físicas, são compostas por quartzo, sílica ou vidro, tendendo a ser duras, inertes e a apresentar índice de refração e translucidez semelhante à da estrutura dental. Além disso, muitas propriedades melhoram com o aumento da quantidade de partículas de carga, principalmente a resistência à fratura e ao desgaste e a contração de polimerização. Por essa razão, entendem que é importante conhecer o nível do conteúdo de carga, assim como o tamanho e a composição das partículas. As resinas compostas podem ser classificadas em compósitos de macropartículas – convencional, tradicional ou partículas grandes – que apresentavam tamanho médio de 15 μm a 30 μm e carregamento de 75% a 80% em peso, tendo como principais limitações a dificuldade de polimento e o acentuado desgaste. Em seguida, surgiram as resinas compostas de partículas pequenas (1 μm a 5 μm) com carregamento similar, porém com partículas de vidro de bário e estrôncio, menos duras, propiciando melhor polimento e retardando o surgimento da rugosidade e do manchamento, além de serem radiopacas. Outro tipo de compósito são os de micropartículas, de tamanho submicrométrico (0,04 μm), com conteúdo final de pouco mais de 50% em peso devido ao efeito espessante da sílica, tendo como

principal vantagem o fato de permitirem melhor polimento. Entretanto, exibem elevados coeficiente de expansão térmica, contração de polimerização, sorpção de água e menor resistência. Outra categoria, a dos compósitos híbridos, oferece a combinação das vantagens dos tipos anteriores, com partículas de tamanhos que podem variar de 0,6 μm a 5 μm associadas com micropartículas, e tem a função de reforçar a matriz aumentando a resistência, reduzindo a propagação de fraturas e o coeficiente de expansão térmica, além de manter a lisura superficial. Esta categoria pode ser subdividida em dois grupos: híbridas submicrométricas (com tamanho médio de 0,6 μm a 0,7 μm) ou híbridas com partículas pequenas (média de 1 μm a 5 μm). Um terceiro grupo, de alto carregamento, reduz a quantidade de micropartículas pela distribuição de partículas por tamanho específico, melhorando o empacotamento. Mais recentemente, foram desenvolvidos materiais com partículas que apresentam distribuição contínua de tamanho, com média inferior a 1 μm e máximo de 2 μm a 4 μm , em vez de combinar dois tamanhos diferentes. Estes materiais aumentam o número de partículas por unidade de volume, melhorando as propriedades.

El-Mowafy et al.³⁰, em 1994, realizaram uma meta-análise sobre a performance clínica de restaurações de resina composta em dentes posteriores. Para tanto, foram levantadas 97 publicações entre os anos de 1981 a 1991. Em seguida, foi feita uma seleção que considerou, entre outros aspectos, artigos

escritos ou traduzidos para a língua inglesa, com duração mínima de 3 anos, e que estudaram materiais indicados pelos fabricantes para dentes posteriores aplicados em cavidades de classe I e II não conservativas. Foram excluídos os trabalhos que avaliaram poucos aspectos clínicos e as investigações em dentes decíduos. Após essa seleção, apenas 16 publicações foram enquadradas nos critérios acima descritos. As seguintes informações foram tabuladas: duração da pesquisa, materiais empregados e tipo de estudo. Os dados foram então submetidos à meta-análise, que combinou os resultados dos diferentes estudos, mostrando que houve uma alta performance clínica dos vários materiais estudados, apesar do limitado número de trabalhos e da duração variável.

Nesse mesmo ano, Roulet⁸³ analisou criticamente os ensaios para avaliação da integridade marginal. Os trabalhos *in vitro* mostram resultados incertos devido a problemas de interpretação e interações, enquanto que os estudos clínicos são, também, questionáveis quanto à dificuldade de um diagnóstico confiável. Observaram que a comunidade científica deve reconhecer que tanto os testes *in vitro* como *in vivo* apresentam sérias limitações e aceitar que materiais possam ser julgados erroneamente durante o processo de avaliação.

Em 1995, Suzuki et al.⁹³ estudaram o efeito do tamanho e da forma das partículas de carga nas propriedades

mecânicas de uma resina composta experimental à base de UDMA/TEGDMA. As partículas de carga de vidro de silicato estudadas foram incorporadas à fase orgânica na concentração fixa de 72,3% em peso. Quanto à forma e ao tamanho, foram avaliadas partículas esféricas com quatro tamanhos médios (9,88 μm , 2,01 μm , 0,62 μm , 0,20 μm) e com forma irregular em dois tamanhos médios (9,46 μm e 1,97 μm). As propriedades foram analisadas por ensaios de dureza Brinell e resistência à compressão. O desgaste foi determinado pelo ensaio de três corpos empregando-se pré-molares extraídos, cuja superfície oclusal foi planificada sem atingir o limite amelo-dentinário. Nesta superfície foi feito preparo cavitário com 4 mm de diâmetro e 3 mm de profundidade, o qual foi restaurado com as resinas compostas experimentais. Após o acabamento e a armazenagem por 72 horas em água a 37°C, os dentes foram submetidos ao ensaio, em velocidade de 1,2 vezes por minutos e carga de 75,6 Newtons, com a interposição de partículas de resina acrílica. Em seguida, os dentes foram moldados com silicona de adição, e os modelos de resina epoxi obtidos foram analisados em microscopia eletrônica de varredura, tendo o desgaste sido medido em perfilômetro. Os dados analisados estatisticamente evidenciaram que as resinas formuladas com partículas esféricas de tamanho pequeno mostraram a maior dureza superficial e que a resistência à compressão é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Quanto a resistência ao desgaste concluíram que a resina composta formulada com partículas esféricas com tamanho médio

de 0,20 μm apresentou o menor desgaste quando comparada às demais. Quando foi comparado apenas o fator forma, não houve diferença entre partículas esféricas e irregulares de tamanhos similares. A microscopia revelou que somente as partículas de tamanho grande sofreram esfoliação durante o teste de desgaste.

Também em 1995, Htang et al.⁴⁶ avaliaram o efeito do conteúdo de partículas de resinas compostas experimentais na resistência à fadiga por impacto. Os materiais foram preparados com partículas de quartzo silanizado, com tamanho médio de 3 μm a 5 μm , em uma matriz de Bis-GMA (60%) TEGDMA (40%). O conteúdo de carga variou de 40% a 85% em peso. Foram preparadas cavidades de Classe I, com 2 mm de diâmetro e 2 mm de profundidade, em dentes bovinos, e as resinas foram inseridas, fotopolimerizadas e, após armazenagem em água a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas, foram ensaiadas. O teste de fadiga por impacto foi feito pela aplicação de uma carga dinâmica (50.000 a 150.000 ciclos) de $1,6 \times 10^{-2}$ joules, por meio de uma ponta com extremidade de 1,5 mm, com frequência de 4 Hz. Os resultados mostraram que os materiais formulados com 40% e 85% de partículas de carga apresentaram os mais baixos valores de resistência à fadiga por impacto, sendo a concentração de 75% a que gerou os melhores resultados. Os autores concluíram que o aumento do conteúdo de carga não melhora, necessariamente, a resistência à fadiga determinada por carga de impacto repetitivo.

Em 1996, Anusavice¹, em capítulo que trata das resinas compostas, discorrendo sobre a fase resinosa, destacou que monômeros de alto peso molecular, tais como o BIS-GMA, são extremamente viscosos à temperatura ambiente, sendo essencial adicionar monômeros diluentes, como o TEGDMA, para produzir pastas com consistência utilizável clinicamente. Infelizmente, a adição destes diluentes aumenta a contração de polimerização. Quanto à fase inorgânica, afirmou que propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão e à tração e módulo de elasticidade, aumentam em função da fração volumétrica de partículas. Observou que, para obter o máximo de incorporação de carga inorgânica na matriz resinosa, é necessário usar partículas com distribuição de tamanho, de modo que os espaços entre as maiores sejam preenchidos pelas menores.

Ainda em 1996, Miyazaki et al.⁶⁶ avaliaram o efeito da intensidade de luz e do tempo de polimerização nas propriedades mecânicas de quatro resinas compostas. Os corpos-de-prova foram polimerizados à intensidade de 400 mW/cm² por 30 segundos, 200 mW/cm² por 60 segundos ou 100 mW/cm² por 120 segundos. Os ensaios de tenacidade e resistência à flexão mostraram que os materiais com diferentes composições apresentaram comportamentos distintos. As propriedades mecânicas não diferiram quando a irradiação apresentava a mesma quantidade de energia (intensidade de luz multiplicado pelo tempo), ou seja, em baixas intensidades de luz, mais longo período

de irradiação é requerido para prover comparáveis propriedades mecânicas.

Também em 1996, Carvalho et al.¹⁴ realizaram uma revisão sobre contração de polimerização analisando a influência da tensão desenvolvida versus libertação de tensões. Destacaram o efeito das diferentes configurações cavitárias na geração de tensões, que podem ser quantificadas pela relação entre a área total de adesão e a área total de faces livres (fator C). Portanto, quanto menor a área livre, menor a possibilidade de escoamento da resina e maior a tensão gerada na área de adesão. Além disso, afirmaram que, quanto mais rápida a polimerização, maior a tensão gerada, pois o estado pré-gel é muito curto, havendo pouco escoamento. A expansão volumétrica propiciada pela sorpção de água tem papel importante na redução da tensão induzida. Porém, essa absorção é lenta, enquanto a contração de polimerização é rápida, além de estar relacionada, também, com a configuração da cavidade. Além disso, quanto maior a concentração de matriz orgânica, maior a sorpção de água.

Em 1997, Eley²⁹ discutiu possíveis materiais e técnicas alternativas para o amálgama. Em suas considerações sobre as resinas compostas, destacou um significativo número de problemas como: maior custo em relação ao amálgama (2 a 3 vezes), contração de polimerização, desgaste, necessidade de controle da umidade do campo, falha de adesão com infiltração marginal e vida

clínica muito menor que a do amálgama. As indicações das resinas compostas, em vista disso, devem ser para cavidades pequenas, sem envolvimento de cúspide, com menos de 1/3 da distância intercuspídea e sem contato oclusal. Além disso, as resinas produzem maior citotoxicidade que o amálgama, observado em teste de laboratório. São classificadas como materiais tóxicos, produzem resposta inflamatória da polpa em testes de laboratório com animais, são fortemente alergênicas e inibem a síntese do RNA. O amálgama, por sua vez, tem sido usado há mais de 100 anos, e o único efeito adverso é a hipersensibilidade ao mercúrio em uma faixa muito estreita da população.

Em capítulo dedicado às resinas compostas, O'Brien⁷⁰, em 1997, comentando sobre contração de polimerização, afirmou que o estresse gerado na interface dente/restauração é de aproximadamente 18 MPa. A contração é uma função direta da fração volumétrica da matriz polimérica do compósito, sendo mais acentuada, portanto, nas resinas de micropartículas, com valores de 2,0% a 4,0%, enquanto, para as de partículas finas ou híbridas, é de 1,0% a 1,7%. Mecanicamente, as resinas de partículas finas e híbridas mostram-se mais resistentes que as de micropartículas, com resistência à tração próxima e à compressão igual ou maior que a da dentina. Alguns materiais altamente carregados podem apresentar resistência à compressão maior que a do esmalte. O módulo de elasticidade é também de grande importância, pois um material de baixo módulo deflete sob tensão. Os materiais de

partículas finas têm módulo de elasticidade que se aproxima ao da dentina.

Leinfelder⁵⁷, em 1997, comentou os recentes avanços na área de resinas restauradoras diretas e indiretas. Entre os materiais desenvolvidos para técnica indireta, destacou o material Artglass (Heraeus/Kulzer), identificado pelo fabricante como um polímero dental não convencional. Este material é composto por monômeros multifuncionais, ao contrário do Bis-GMA, UEDMA e UDMA que contém moléculas bifuncionais. Essa formulação apresenta 4 a 6 grupos funcionais, dando oportunidade a uma maior conversão de dupla ligação, criando maior nível de ligações cruzadas e permitindo melhor controle da posição ao longo da cadeia de carbono onde ocorre. A partícula de carga é essencialmente vidro de bário radiopaco, com tamanho médio de 0,7 μm , e é associada a moderada quantidade de sílica coloidal. Comentou também o sistema Belleglass HP, cuja matriz é quimicamente similar à do Bis-GMA, porém com processo de cura feito a elevada temperatura (136°C), sob pressão e na presença de nitrogênio, que é um gás inerte. O uso de atmosfera controlada aumenta substancialmente a resistência ao desgaste, melhorando também o nível de polimerização. Para as resinas compostas diretas, foi dada especial atenção ao material de matriz polimérica inorgânica rígida (PRIMM), condensável. A fase inorgânica deste material consiste de uma rede contínua de fibras cerâmicas de alumina e dióxido de silício, que são unidas em alguns pontos

criando essa rede que forma pequenas câmaras. Após a silanização, o fabricante infiltra BISGMA ou UDMA. Essa nova formulação pode ter menor contração de polimerização e maior resistência à flexão.

No mesmo ano, discorrendo sobre materiais e técnicas atuais para restaurações diretas em dentes posteriores com resina composta, Wilson et al.¹⁰³ afirmaram que, entre os diversos compósitos disponíveis, os densamente carregados (mais de 60% de carga em volume), com partículas finas (menos de 3 μm) e fotopolimerizados são os mais adequados para uso em posteriores. Entretanto, ainda sofrem certas limitações clínicas significativas tais como: contração de polimerização, suscetibilidade à degradação no ambiente bucal, muito limitado potencial anticariogênico, suscetibilidade ao acúmulo de placa, potencial para desenvolver sensibilidade e reações alérgicas. Em vista do exposto, a indicação desses materiais fica restrita a cavidades de Classe I e II ultraconservativas, em pacientes jovens motivados para a manutenção da higiene bucal. O preparo cavitário deve restringir-se ao acesso necessário à instrumentação e inserção do material restaurador, se possível mantendo pontos de contato oclusal em esmalte e arquitetura interna arredondada, com o objetivo de reduzir os efeitos da contração de polimerização. A técnica de restauração deve procurar obter efetivo selamento marginal, o que depende da inter-relação entre contração volumétrica durante a polimerização, da adaptação e da adesão

aos tecidos dentais. Para o futuro, sugerem que alguns pontos devam ser observados para a evolução desses sistemas, como: desenvolvimento e refinamento dos materiais, estudos de longo prazo de performance e sucesso de restaurações em cavidades ultraconservativas de Classe I e II, com ênfase nos efeitos biológicos, comportamento clínico e modo de falha, assim como estudos para avaliar novos princípios para preparo cavitário, com vista a obter cavidades relativamente pequenas e formas auto-retentivas. Ainda, investigar o impacto ambiental pelo aumento do uso de tais materiais e atuar mais efetivamente no campo educacional com o objetivo de treinar melhor os estudantes e os profissionais quanto à adoção de novos princípios biomecânicos .

Mehl et al.⁶⁵, em 1997, estudaram o efeito da intensidade de luz na formação de fenda marginal e nas propriedades mecânicas de duas resinas compostas (Tetric e Charisma), utilizando a técnica conhecida como “*softstart-polimerization*” que preconiza iniciar a polimerização com baixa intensidade de luz e aplicar uma pós-cura com intensidade total. Foram estudados a resistência à flexão, o módulo de flexão e a dureza Vickers em corpos-de-prova polimerizados por sete técnicas que apresentavam um esquema variável de distância entre a fonte de luz e o corpo-de-prova, o que resultava em 80%, 70% , 62%, 56%, 50%, 37% e 13% da intensidade inicial de luz, ao que se seguia a polimerização complementar de 100% de intensidade. Para a análise da presença de fendas, foram confeccionados

preparos tipo Classe V, que foram restaurados aplicando-se previamente o sistema adesivo Syntac e a resina composta Tetric inserida em um único bloco. Para a polimerização, foram empregadas quatro diferentes técnicas: polimerização com 100%, 70%, 50% ou 37% de intensidade de luz, por 20 segundos, seguidas de polimerização complementar de 100% de intensidade por 40 segundos. Após 24 horas, foram obtidas réplicas em epoxi dos dentes para microscopia eletrônica de varredura, após o que foram submetidas à ciclagem térmica para avaliação da formação de fendas pela penetração de corante. De um modo geral, os resultados indicaram que a técnica de polimerização inicial com baixa intensidade de luz seguida de complementação com elevada intensidade não influenciou a dureza e melhorou a resistência à flexão e o módulo de flexão. Foi observado também que essa técnica melhora significativamente a adaptação marginal.

Nesse mesmo ano, Ferracane et al.³⁷ estudaram a resistência ao desgaste assim como a presença de fenda marginal em restaurações com uma resina composta contendo 50% de Bis-GMA e 50% de TEDGMA, com partículas de vidro de estrôncio (1 μm a 2 μm) e micropartículas com 62% em volume. Foram selecionados pacientes desdentados inferior, em cujas próteses foi incluído um dente confeccionado em metal, com cavidade para receber a resina composta. As restaurações foram feitas variando-se o tempo de polimerização (9, 12, 25 e 40 segundos) e a aplicação de polimerização térmica complementar a 120°C por 10

minutos. Como controle, foram feitas restaurações com a resina de micropartículas Heliomolar, polimerizada por luz por 40 segundos ou com complementação por calor como descrito anteriormente. Foram feitas moldagens iniciais (controle), em 6 meses, 1 ano e 2 anos. Modelos de gesso obtidos foram analisados por três examinadores independentes para determinar a porcentagem de falha marginal, e modelos de resina epoxi foram medidos em perfilômetro para a avaliação do desgaste. Após 2 anos, a resina composta híbrida mostrou desgaste que variou de 144 μm (polimerização por 9 segundos) a 36 μm (polimerizada por luz e calor), enquanto a resina de micropartícula (Heliomolar) exibiu desgaste de 12 μm a 16 μm (com complementação por calor ou somente luz, respectivamente). Quanto à qualidade das margens, a resina composta híbrida não se mostrou sensível à técnica de polimerização, enquanto a resina Heliomolar foi melhorada pela aplicação de calor.

Também em 1997, Razak & Harrison⁸⁰ estudaram o efeito do conteúdo de carga e de métodos de polimerização na precisão de inlays obtidas por meio de uma resina composta experimental, cuja fase orgânica é à base de Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA e cujas partículas de carga são compostas por aluminoborosilicato de bário (tamanho médio de 1 μm) e dióxido de silício (média de 0,04 μm). Os corpos-de-prova foram construídos em uma matriz metálica com preparo esquemático de uma restauração tipo MOD, a qual possuía alguns pontos de referência

para a medida da discrepância entre a matriz e as peças obtidas. Foram preparadas três composições diferentes quanto à concentração das partículas de carga: 79%, 65% e 50% em peso, e as resinas foram polimerizadas por três técnicas diversas: somente fotopolimerização; fotopolimerização e complementação por calor em água a 100°C por 5 minutos; ou esta última técnica seguida de armazenagem em água durante uma semana antes da medida das alterações dimensionais. Os resultados mostraram que houve contração em todas as formulações e técnicas de polimerização, tanto no sentido horizontal quanto vertical, tendo sido, entretanto, observado que, quanto maior a concentração das partículas de carga, menores as contrações na peça obtida. Para a resina formulada com 79% de carga, a polimerização por luz ou a com complementação por calor e armazenagem por uma semana em água mostraram-se semelhantes e com menor contração em comparação com a técnica de complementação por calor sem armazenagem em água. Já para as demais formulações (65% e 50% de carga), a técnica de polimerização por luz, calor e armazenagem em água por uma semana foi superior às demais técnicas, mostrando que o efeito da sorção de água reduz o efeito da contração da resina.

Também discorrendo sobre contração de polimerização e estresse de polimerização, Davidson & Feilzer²³, em 1997, discutiram diversos métodos de medida das alterações lineares e volumétricas, obtidas direta e indiretamente, apresentados na

literatura. A polimerização da matriz resinosa produz uma geleificação na qual o material restaurador é transformado da fase visco-plástica para rígido-elástica. O ponto gel é definido como o momento no qual o material não pode mais prover escoamento viscoso. Quando a contração é medida por meio de transdutor de deslocamento, a ativação do dispositivo requer força, sendo portanto somente monitorada a fase pós-gel da contração quando o material é suficientemente forte para atuar sobre o equipamento. Afirmaram que, quanto mais baixa a viscosidade inicial do material, mais monômero deve ser unido à cadeia polimérica. As resinas com elevado conteúdo de partículas da carga requerem monômeros de baixo peso molecular para propiciar adequada viscosidade de manipulação. Assim, dentro de certos limites, a contração de polimerização não depende das partículas de carga.

Também em 1997, Brosh et al.¹⁰ estudaram a influência do tempo e o efeito da pressão durante a polimerização por luz sobre a dureza e a resistência à tração diametral da resina composta Brilliant (Coltene). Os corpos-de-prova de forma cilíndrica (6 mm de diâmetro e 3 mm de altura) eram obtidos a partir de uma matriz, à qual, através de uma das extremidades, incidia-se a luz, e pela outra, aplicava-se a carga, que variou de 0 MPa, 0,35 MPa, 0,87 MPa e 1,73 MPa. A irradiação de luz foi feita nos seguintes tempos: 20, 40, 60 e 180 segundos. Os corpos-de-prova foram armazenados em ambiente seco e escuro durante 7 dias tendo, em seguida, sido realizados os ensaios de dureza

Knoop e de resistência à tração diametral. Os resultados apontaram para uma tendência de aumento da dureza em função do tempo de irradiação. Houve um aumento significativo entre 20 e 40 segundos com a mesma carga. O aumento de tempo além de 40 segundos não resultou em melhora da dureza. Com relação à aplicação de carga, foi possível notar tendência ao aumento da dureza em função da carga, estabilizando-se em 0,87 MPa e no tempo de 60 segundos. A resistência à tração diametral não aumentou em relação diretamente proporcional ao tempo de polimerização. Houve diferença estatística quando a carga sobre a resina foi aumentada de 0 e 0,35 MPa para 1,73 MPa, polimerizada por 60 segundos.

Mjör⁶⁷, nesse mesmo ano, fez um levantamento dos motivos para substituição de restaurações de resina composta, amálgama e ionômero de vidro, bem como sobre a idade da restauração quando ocorreu a falha. O exame foi feito por diversos clínicos que avaliaram se o motivo da falha da restauração era: presença de cárie secundária, qualidade pobre das margens, perda da forma anatômica, fratura de corpo, fratura do dente, descoloração, dor e sensibilidade e outras razões. Dessa forma, 2.431 restaurações de resina composta, 1.062 de amálgama e 538 de cimento de ionômero de vidro que necessitavam substituição tiveram os motivos para troca registrados, bem como a idade delas. Os resultados mostraram que o principal motivo para a falha das restaurações, independentemente do tipo de material utilizado, era

a cárie secundária, pois nesta classificação ficaram 38% das restaurações de resina composta e 50% das de amálgama e ionômero de vidro. Outras razões importantes para a falha das restaurações de resina composta foram: descoloração (12%), perda da forma anatômica (9%), fratura da restauração em bloco (16%), fratura marginal (4%), fratura do dente (13%). Para o amálgama, a fratura em bloco correspondeu a 18% das falhas, as fraturas marginais a 11% e a fratura dental a 15%. O ionômero de vidro falhou em 4% das restaurações por descoloração, 12% por fratura em bloco, 6% por fratura marginal e 16% por outros motivos. Somente foi possível determinar a idade de 537 restaurações de resina composta, 282 de amálgama e 155 de ionômero de vidro, e a longevidade média das restaurações ficou assim determinada: resina composta – 6 anos; amálgama – 9 anos e ionômero de vidro – 3 anos.

Em um amplo levantamento, Roulet⁸⁴, em 1997 analisou as vantagens e desvantagens de restaurações estéticas alternativas ao amálgama. Segundo o autor, os materiais estéticos alternativos necessitam de técnica adesiva, requerendo preparo cavitário específico, com grande quantidade de esmalte disponível para adesão. E que, além disso, deve-se respeitar os vetores de contração dos materiais, realizar perfeita técnica de isolamento absoluto, apropriado condicionamento do esmalte e da dentina e cuidadosa manipulação dos materiais com correto acabamento e polimento das margens das restaurações. Quando comparada com

o amálgama, é possível observar que a resina composta (se corretamente indicada) consome 2,5 mais tempo devido à sua complexidade e ao uso da técnica incremental. Em cavidades mais amplas, as fendas marginais são ainda inaceitáveis. Com respeito à longevidade, estudos mostram avaliações superiores a 20 anos para o amálgama, com média de falha anual entre 0,3% e 6,9%. As resinas compostas assemelham-se quanto à incidência de falha anual (0,5% a 6,6%), porém os tempos de avaliação são de no máximo 10 anos. Já para as *inlays* estéticas, a longevidade é superior a 6 anos e a falha anual situa-se na faixa de 0,6% a 5%, sendo os dados, porém, escassos. Ao final, concluiu que as alternativas ao amálgama requerem procedimentos mais complexos e necessitam de mais tempo para a realização das restaurações, e que o amálgama ainda é um material muito conveniente para dentes posteriores, considerando-se a relação custo/benefício.

Também em 1997, Zhao et al.¹⁰⁴ estudaram propriedades mecânicas de formulações experimentais de resinas compostas por meio de diferentes ensaios. A fase orgânica dos materiais estudados era composta por 60% de Bis-GMA e 40% de TEDGMA. A esta matriz foram adicionados variados tipos e quantidade de partículas de carga (vidro de estrôncio associado ou não a 10% de micropartículas de dióxido de silício), totalizando 75% a 79% em massa. Para os ensaios mecânicos, foram obtidos corpos-de-prova na forma de barra com 2 mm X 4 mm X 70 mm, que foram submetidos aos testes de flexão de 4 pontos ou de 3

pontos com ou sem fenda. Foi realizado ainda o teste de tração diametral em discos pré-fendidos no centro. Os resultados mostraram que a variação no percentual de partículas de carga, bem como a associação com sílica coloidal, não influenciaram significativamente os valores de resistência à flexão, módulo de flexão e resistência à fratura.

Christensen¹⁶, em 1998, fez uma análise do estado atual de uso de resina composta ou amálgama para restaurações de Classe II. Em um breve histórico, relatou as dificuldades e os insucessos das resinas compostas até a metade dos anos 80. A partir daí, algumas evoluções dos materiais, técnicas e sistemas adesivos favoreceram a maior difusão do uso das restaurações estéticas em dentes posteriores. Ressaltou, também, que inúmeras escolas de odontologia não têm ensinado o uso de amálgama. Por outro lado, o profissional mais experiente, que domina a técnica de restauração com amálgama, encontra grandes dificuldades técnicas para o uso da resina composta. Em uma comparação entre os materiais, destacou que o amálgama apresenta alta resistência e baixo desgaste, porém que a resina tem propriedades mecânicas mais próximas às da estrutura dental. Quanto ao desgaste, a resina desgasta-se acentuadamente mais que a estrutura dental e ligeiramente mais que o amálgama, ou seja, enquanto o amálgama sofre desgaste de 0,1 mm em 10 anos, a resina composta híbrida apresenta 0,3 mm e a resina de micropartícula 0,15 mm. Entretanto, indagou se isto seria suficiente para condenar a resina

composta para o uso em classe II, pois a restauração pode, ao longo do tempo, ser ajustada, recontornada ou substituída. Outro aspecto que mereceu atenção foi o fato de haver uma percepção dos clínicos acerca da maior incidência de cáries relacionadas a restaurações de resina composta comparativamente ao amálgama. Entretanto, segundo o autor, as resinas compostas e as técnicas restauradoras atuais, provavelmente, deverão reduzir este problema. Afirmou ainda que muitas das críticas à resina composta devem-se às experiências negativas no período anterior a 1985. Apesar dos progressos alcançados, chamou a atenção para propriedades que necessitam ser melhoradas como: redução do desgaste, diminuição da contração de polimerização, coeficiente de expansão térmica semelhante à da estrutura dental e melhoria nos sistemas adesivos.

Collins et al.¹⁸, nesse mesmo ano, realizaram uma avaliação clínica de 8 anos em restaurações de dentes posteriores. Foram utilizados os seguintes materiais: Dispersalloy (controle), Heliomolar, Herculite XR- Kerr e P30. Cada paciente recebeu pelo menos uma restauração de cada um dos materiais. Para a avaliação clínica, foi utilizada uma modificação do critério USPHS, verificando-se: perda da forma anatômica, adaptação marginal, descoloração marginal, textura superficial, contato proximal, sensibilidade, condições dos tecidos gengivais e presença de cárie adjacente à restauração. Ao final, 46 dos 72 pacientes retornaram, totalizando 213 restaurações, dentre as

quais 25 falharam, sendo 13,7% das de resina composta e 5,8% das de amálgama. Cárie secundária e fratura em bloco foram as falhas mais comuns nas resinas. Os autores concluíram que as restaurações de resina composta falharam de 2 a 3 vezes mais que o amálgama.

Também em 1998, Mair⁶⁴ apresentou o resultado da avaliação clínica, de 10 anos, de restaurações em dentes posteriores empregando 3 tipos de resinas (Oclusin, P 30 e Clearfil Posterior) e dois amálgamas (New True Dentalloy e Solila Nova). Foram feitas 30 restaurações com cada um dos 5 materiais por um único examinador, segundo as instruções dos fabricantes e os respectivos sistemas adesivos que acompanhavam as resinas. As avaliações clínicas foram feitas imediatamente (controle), 6 meses, 1, 2, 3 4, 5 e 10 anos após a inserção. Os aspectos analisados foram: queda, recidiva de cárie, alteração de cor, manchamento marginal, corrosão, pontos de contato e saúde gengival. O desgaste foi avaliado por meio de moldes de silicone, que foram comparados com um modelo de resina epoxi obtido no início do estudo. Os resultados mostraram corrosão nos amálgamas, bem como manchamento nas resinas compostas. O material Oclusin mostrou acentuado manchamento marginal, que foi atribuído ao sistema adesivo. Quanto ao desgaste, as resinas compostas P 30 e Oclusin exibiram maior desgaste que os outros materiais. Entretanto, nenhuma restauração examinada após 10 anos de avaliação clínica necessitou ser substituída.

Em outro estudo clínico, Rasmusson et al.⁷⁹, em 1998, avaliaram duas marcas comerciais de resina composta (Superlux Molar-DMG e P-50-3M), aplicadas em cavidades de classe II, uma semana após o procedimento restaurador e ao final de 3 anos. Esse estudo verificou, ainda, a influência da composição salivar no desempenho das restaurações. A avaliação foi baseada no critério USPHS, objetivando verificar: contato proximal, forma anatômica, adaptação marginal, descoloração marginal, alteração de cor e cárie secundária. Paralelamente foram tomadas radiografias interproximais, fotografias e moldes. O desgaste foi medido em modelos pelo método proposto por Leinfelder. Ao final do estudo, os autores concluíram que não houve diferença estatística entre os materiais estudados e que o desgaste foi significativamente maior em pacientes com elevado nível de lactobacilos na saliva, sugerindo que um ambiente ácido pode acentuar o processo de desgaste.

A performance clínica de restaurações de resina composta Charisma (Kulzer) com inserção de vidro cerâmico Beta-quartz (Lee Pharmaceuticals) foi avaliada por Kiremitçi et al.⁵³, em 1998. Foram avaliadas 22 restaurações, sendo 6 em molares, 12 em pré-molares e 4 em incisivos. A avaliação clínica foi feita por 3 examinadores diferentes com base no critério USPHS, em exame radiográfico e fotografias inicial e de 2 anos. Também foram confeccionadas réplicas para exame em microscopia eletrônica de varredura, com o objetivo de avaliar a integração vidro

cerâmico/resina/esmalte. Para os aspectos de descoloração marginal, cárie secundária e sensibilidade, todos os dentes classificaram-se em Alfa. O contato proximal, a integridade marginal e a forma anatômica, foram classificados em Alfa em 21 dentes e como Charlie em 1. Quanto à alteração de cor, 19 dentes situaram-se em alfa e 3 em Bravo. Os autores concluíram que a inserção de vidro cerâmico melhorou as propriedades da resina composta.

Em 1998, a revista *The Dental Advisor*⁸², comentando novos materiais restauradores estéticos, afirmou que as recentes resinas compostas condensáveis mostram elevadas rigidez e radiopacidade, média resistência, baixo desgaste e menor contração de polimerização. Entre as tendências para o futuro, apontam para modificações na formulação, tanto na fase orgânica quanto na inorgânica, melhorando as resistências mecânica e ao desgaste, reduzindo a contração de polimerização, sem prejuízo da estética. Entre os novos materiais, destacaram o Definite (Degussa), que contém um copolímero inorgânico-orgânico, que forma uma cadeia polimérica com a inclusão de silício. Além disso, monômeros com baixa contração (orto-espirocarbonetos) e nanopartículas de carga encontram-se em desenvolvimento.

Kunzelmann et al.⁵⁶, ainda em 1998, estudaram a taxa de desgaste de um compósito experimental, que possui um novo modelo de matriz, o ormocer, comparado com 15 marcas

comerciais. O ensaio de desgaste do tipo pino sobre bloco, com movimentação horizontal sobre o antagonista, foi realizado com carga vertical de 50N. O desgaste foi medido através de réplicas obtidas após 4.000, 6.000, 10.000, 30.000 e 50.000 períodos. As menores taxas de desgaste foram obtidas para os materiais Durafil, Metafil CX, Solitaire e Heliomolar. Em seguida foi formado outro grupo composto por Degufil SC,Ormocer, Charisma, Degufil Mineral e Degufil Ultra. Na sequência classificaram-se as resinas compostas Z-100 e TPH, e outro grupo foi formado pelas resinas Tetric Ceram e Tetric flow. Por último, com maior taxa de desgaste, situaram-se as resinas compostas Pertac II, Tetric e Extilux Hybrid.

No mesmo ano, em outro exemplar da revista The Dental Advisor²⁵, foi apresentado o resultado da avaliação do desempenho clínico de 5 anos da resina composta Z-100 (3M). Das 113 restaurações realizadas em dentes posteriores, 85% foram classificadas como muito boas ou excelentes, 2% precisaram ser substituídas e as demais foram consideradas ruins ou regulares.

Também, nesse ano, Opdam et al.⁷² realizaram estudo *in vivo* da integridade marginal e da sensibilidade pós-operatória relativas a restaurações de classe II com resina composta. Foram feitas 144 restaurações proximais em pré-molares indicados para extração por finalidade ortodôntica utilizando a resina composta Clearfil Ray Posterior (Kuraray), variando-se o sistema adesivo e a técnica restauradora. Os sistemas adesivos estudados foram:

Clearfil Photo Bond (Kuraray), Scotchbond Multi Purpose (3M) e Clearfil LinerBond 2, e as técnicas restauradoras foram técnica incremental utilizando matriz transparente, técnica incremental empregando matriz metálica e inserção da resina em bloco utilizando-se matriz metálica. Após 5 a 7 semanas, foi realizado exame para avaliação da sensibilidade pós-operatória espontânea e à carga oclusal. Em seguida, os dentes foram cuidadosamente extraídos, limpos e imersos em solução de fucsina básica, utilizada como marcador de infiltração. Vinte e quatro horas depois, os dentes foram seccionados e a infiltração de corante avaliada por dois examinadores. A análise dos resultados mostrou que, das 144 restaurações, 65 apresentaram mínima infiltração cervical em esmalte, 5 sofreram infiltração em dentina e 74 não tiveram nenhuma infiltração. Não foram relatados casos de sensibilidade pós-operatória espontânea e 28 restaurações foram sensíveis à carga oclusal.

Ainda em 1998, Ölmez et al.⁷¹ avaliaram a microinfiltração *in vitro* em cavidades de classe V padronizadas, com 4,0 mm de diâmetro e 3,0 mm de profundidade, em molares humanos extraídos, sendo a parede gengival estendida apicalmente 1 mm além da junção cimento-esmalte. Previamente à inserção da resina Heliomolar (Vivadent), foi feito o condicionamento ácido e aplicado o sistema adesivo Syntac. A restauração foi executada através de três diferentes técnicas: inserção em um único bloco, inserção de dois incrementos ou

utilização de partícula de vidro cerâmico (quartzo beta) associada a resina composta. Após o acabamento das restaurações, os dentes foram preparados para ciclagem térmica (1.000 ciclos de 5° a 55°C) e, em seguida, armazenados por 24 horas em solução de fucsina básica a 0,5%. Na sequência, os dentes foram incluídos em resina acrílica e seccionados no sentido buco-lingual, e os cortes avaliados e classificados por meio de microscópio. Os resultados mostraram que, na parede oclusal, as restaurações feitas pela técnica de inserção em um único bloco apresentaram infiltração significativamente maior que pelas outras técnicas. Na área cervical, a técnica que associa inserção de vidro cerâmico com resina exibiu os melhores resultados e a técnica de inserção em bloco os piores.

Fernianakis³⁵, ainda em 1998, estudou *in vitro* a microinfiltração em 40 molares humanos extraídos, restaurados por duas diferentes técnicas. Os preparos cavitários de Classe I foram feitos por abrasão a ar, e as cavidades condicionadas com ácido fosfórico e aplicado o sistema adesivo Optbond. Para a restauração, foram empregadas duas diferentes técnicas, sendo uma a cominação da resina composta Herculite XRV (Kerr) recoberta pela resina Heliomolar (Vivadent). A outra técnica utilizou somente a resina Revolution de baixa viscosidade. Após a restauração, os dentes foram polidos, submetidos a termociclagem e imersos em solução de fucsina básica para evidênciação da microinfiltração. Vinte e quatro horas depois, os dentes foram

seccionados para observação e classificação da infiltração, bem como para verificar a presença de bolhas. Os resultados mostraram que os dentes restaurados com as resinas Herculite e Heliomolar apresentaram maiores níveis de infiltração e maior incidência de bolhas de ar.

Os efeitos da concentração de iniciador, do tempo de exposição à luz e do tamanho de partícula sobre as propriedades mecânicas foram estudados por Kalliyana Krishnan & Yamuna⁴⁹, em 1998. Foram formuladas resinas compostas à base de Bis-GMA e TEGDMA, variando-se a concentração de iniciador (0,1% a 0,75%) e tamanho das partículas de vidro radiopaco (0,7 μm , 1 μm ou 1,4 μm). No teste de dureza Vickers, além das variáveis citadas anteriormente, foi variado o tempo de irradiação (10, 30 e 50 segundos), o que mostrou que o aumento do tempo melhora a dureza e que, quanto maior a concentração de iniciador, maior o grau de polimerização. Para os ensaios de resistência à compressão e à tração diametral, o tempo de polimerização não foi variável e os resultados mostraram que os valores de resistência aumentavam acentuadamente da menor concentração de iniciador para as maiores, atingindo valor máximo entre 0,25% a 0,5%. Quanto ao tamanho das partículas foi observado que as melhores propriedades foram encontradas nas resinas formuladas com partículas de carga com média de 0,7 μm e 1,0 μm .

A influência da composição da fase orgânica sobre as

propriedades mecânicas das resinas composta foi objeto de estudo de Asmussen & Peutzfeldt³, também em 1998. Foram estudadas 30 diferentes formulações experimentais variando-se a relação entre os monômeros TEGDMA e BisGMA (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30), assim como procedendo à substituição do BisGMA por UEDMA em incrementos sucessivos de 10% em todas as formulações. Foram realizados ensaios de resistência à tração diametral, resistência a flexão e módulo de elasticidade. Os resultados mostraram que a substituição de BisGMA ou TEGDMA por UEDMA melhorou a resistência à tração e à flexão. A substituição de BisGMA por TEGDMA aumentou a resistência à tração, porém reduziu a resistência à flexão. Foi observado que a incorporação do monômero UEDMA em concentrações variadas a determinadas formulações de BisGMA e TEGDMA influencia marcadamente o módulo de elasticidade, reduzindo ou aumentando seus valores.

A influência da composição da fase orgânica foi também investigada por Taylor et al.⁹⁴, nesse mesmo ano. O BisGMA e 10 monômeros experimentais análogos a ele foram diluídos com uma quantidade necessária de TEGDMA para produzir duas diferentes viscosidades, representativas das encontradas em produtos comerciais. Foram adicionadas partículas inorgânicas silanizadas do tipo híbrida ou micropartículas, e o máximo de incorporação de carga foi estabelecido pela viscosidade por intermédio do teste de consistência, proposto pela ADA para

cimento de fosfato de zinco, modificado para resina composta. Para cada combinação monômero/partícula, o aumento do conteúdo de carga reduzia a plasticidade, obtendo-se o máximo de 86% em peso (83% em volume) para partículas híbridas e 36% em peso (24% em volume) para micropartículas. Também foi verificado que, quanto maior a concentração de TEDGMA, menor a viscosidade. A viscosidade para as formulações com micropartículas parece não sofrer influência da viscosidade da matriz, enquanto para as com partículas híbridas, quanto menor a viscosidade da matriz, maior a plasticidade.

Hickel et al.⁴⁴, ainda nesse ano, publicaram uma revisão sobre novos materiais restauradores diretos, quando afirmaram que os *ormocers*, embora conhecidos há muito tempo na literatura química, tinham sua aplicação em odontologia ainda em desenvolvimento. O acrônimo *ormocer* é uma abreviação de *organically modified ceramics* sendo também conhecido por *ormosil* (*organically modified sillicates*), e sua química é similar à dos silicones e polímeros orgânicos. Sua base é um novo uretano multifuncional associado a tioeter-oligo(meta)acrilato alcoxisilano, desenvolvida para preparar um copolímero orgânico/inorgânico. Os grupos alcoxisilil do silano permitem a formação da cadeia inorgânica Si-O-Si pela reação de hidrólise e pela policondensação, e o grupamento metacrilato fica disponível para polimerização orgânica induzida termica ou fotoquimicamente. Os testes de laboratório têm mostrado que esses materiais exibem

propriedades físicas promissoras e menor desgaste que os compósitos convencionais.

Também nesse ano, Bayne et al.⁵ realizaram estudo para caracterização de oito novas resinas compostas de baixa viscosidade, recentemente lançadas no mercado, comparadas com as resinas compostas híbridas Z 100 e Prodige. Foram estudadas diversas propriedades mecânicas e determinado o conteúdo de carga por peso e volume. Para a determinação da porcentagem de carga por massa, foram feitas pesagens inicial e após a queima do material, a 600°C, durante 1 hora. Para determinar a fração por volume, foi colocada uma massa conhecida de partículas, resultante do teste anterior, em um picnômetro, e o volume de água deslocado foi calculado. Com base neste dado, foi estabelecido o volume das partículas e calculado o percentual volumétrico.

Ainda no ano de 1998, Versluis et al.⁹⁶ avaliaram os vetores de contração de uma resina composta. Foi estudada, inicialmente, a intensidade de luz, através de espessuras variáveis de resina composta, esmalte e dentina bovinos, medida por meio do sensor do radiômetro. Foi analisada, também, por meio de ensaio de microdureza Knoop, a profundidade de cura em corpos-de-prova retangulares, fotopolimerizados por uma das extremidades foi medida. E o efeito da direção da aplicação da luz foi avaliado pela dureza da resina composta inserida em uma cavidade oclusal, polimerizada pela aplicação da luz em ângulo de

90° ou 45°. A determinação do ponto gel foi feita, por meio de extensômetros, pelo do monitoramento das alterações durante a polimerização. Os dados foram analisados por cálculo de elemento finito mostrando que a intensidade de luz diminui exponencialmente com a espessura de compósito, esmalte e dentina e que a dureza é reduzida em função da profundidade. A distribuição da dureza de resina composta em função do ângulo de aplicação de luz sugere menor penetração de luz em ângulo de 45°. Foi verificado que os compósitos não contraem em direção à luz, sendo os vetores determinados, predominantemente, pela forma da cavidade e pela qualidade de adesão do material às paredes cavitárias.

No ano seguinte, Whitters et al.⁹⁹ em uma revisão da literatura, relativa ao ano de 1997, discorreram sobre as resinas compostas. Afirmaram que a mais recente inovação foi o desenvolvimento do primeiro *ormocer* (organic modified ceramic) comercializado pela Degussa, com o nome Definite. Este material tem como base uma nova matriz organo-cerâmica à qual são adicionadas partículas cerâmicas, dando origem a um produto que ainda é classificável como compósito. Porém, existem limitações na combinação entre os índices de refração das partículas e da matriz.

Em 1999, Franchi et al.³⁹ estudaram a resistência à fratura e a microinfiltração em dentes restaurados com a combinação resina composta- amálgama. Foram utilizados

terceiros molares intactos extraídos, nos quais foram feitos preparos de classe I com paredes de esmalte sem suporte. As cavidades foram tratadas com o sistema adesivo Scotchbond Multipurpose (3M), as paredes vestibulares reforçadas com resina composta e o dente, então, restaurado com amálgama. Os dentes foram armazenados em solução salina por 15 dias a 37°C, suas raízes incluídas em resina acrílica, e submetidos a ciclagem mecânica (7×10^4 ciclos) em um equipamento para ensaio de fadiga com força na faixa de 0 a 300 Pa e frequência de 2,4 Hz. Em seguida, foram imersos em solução corante, por 48 horas a 37°C, e, após a secagem e inclusão em resina acrílica, foram seccionados no sentido vestibulo-lingual. As secções dos dentes foram polidas e analisadas em lupa estereoscópica para análise da infiltração de corante e, em seguida, preparadas para análise em microscopia eletrônica de varredura. Das 34 porções de dentes analisadas, 16 mostraram fratura de esmalte incluído por resina composta e 12 suportadas por amálgama, sem perda de tecido. Vinte e uma secções apresentaram infiltração de corante entre esmalte e amálgama, 10 entre dentina e amálgama, 8 entre amálgama e resina composta, 8 entre esmalte e resina composta e 11 entre dentina e resina composta. Os autores concluíram que o amálgama associado ao adesivo parece ser tão efetivo quanto a resina composta para suportar esmalte sem suporte, porém que a resina composta pode ter melhor adaptação marginal ao esmalte.

Em 1999, Nagen Filho⁶⁹ publicou um manual sobre

resinas compostas e, no capítulo referente à composição do material, abordou as novas formulações que foram recentemente introduzidas em alguns materiais. Afirmou que os compósitos convencionais têm como base Bis-GMA e TEGDMA, que são consideradas moléculas bifuncionais e que têm em suas extremidades dois radicais metacrilato. Na composição da resina Solitaire (Kulzer), em vez destes monômeros existem moléculas de acrilato tetrafuncional denominada, pelo fabricante, Polyglass. Este monômero é um silicato modificado organicamente, também conhecido por ormosil, ceramer, polímero orgânico modificado, compostos orgânicos de silício ou ormocer (organic modified ceramic). Esse silicato é alcóxido de silício tetrafuncional, que é um monômero que contém em sua estrutura um elemento inorgânico conectado ao grupo reativo alcóxido. Desta forma, tem potencial para desenvolver alto índice de ligações cruzadas, conferindo propriedades diferentes das características das matrizes convencionais.

Söderholm & Mariotti⁹¹, em 1999, realizaram um estudo para avaliar o efeito tóxico potencial de materiais à base de BIS-GMA devido a estrogenicidade do Bisfenol A. Para abordar o tema, os autores analisaram detalhadamente a química do BIS-GMA e seu uso na boca, a ação do hormônio esteróide no corpo e na boca e teorias de como o bisfenol A pode afetar tecidos do corpo sensíveis ao estrogênio. Quanto ao aspecto químico, a síntese do BIS-GMA pode resultar em diferentes níveis de impurezas (bisfenol

A), que podem ser responsáveis por reações alérgicas ou efeitos estrogênicos. Os principais efeitos estrogênicos, na mulher, incluem o desenvolvimento e crescimento de caracteres sexuais secundários, controle e liberação de hormônios pelo sistema nervoso central e espessura da mucosa vaginal. No homem, a significância do estrogênio na fisiologia é pouco conhecida, mas pode estar envolvido na regulação de níveis de androgênio e estrogênio bem como no comportamento sexual. Evidências sugerem que tecidos orais podem ser modulados pelo estrogênio como, por exemplo, no caso de problemas periodontais relacionados à gravidez. Entretanto, estudos sobre a liberação de substâncias tóxicas de materiais à base de BIS-GMA, assim como sua absorção, metabolismo e excreção, mostram que, em condições extremas, essas impurezas podem induzir fracos efeitos estrogênicos em tecidos alvo. Impurezas presentes ou resultantes da degradação de restaurações de resina composta ou selantes seriam muito pequenas e estariam muito abaixo das doses necessárias para afetar o trato reprodutivo, sendo insignificante o risco destes efeitos em tratamentos odontológicos.

Raskin et al.⁷⁸, em 1999, publicaram trabalho de avaliação clínica da resina composta Occlusin em um período de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 anos. Foi adotado o critério USPHS modificado na análise de 100 restaurações em molares e pré-molares de adultos jovens, com cavidades de Classe I e II de variados tamanhos e feitas com o uso ou não de isolamento absoluto. Após

10 anos, 37 restaurações foram revistas e outras 32 já haviam falhado. As causas de falha mais comuns foram a perda da forma oclusal até os primeiros 5 anos e a perda de contato proximal no final do período, tendo somente 2 falhado quanto à recidiva de cárie. Ao final de 10 anos, poucas restaurações mantiveram características funcionais ideais. O tamanho, a localização, o tipo e o fato de serem feitas sob isolamento absoluto não mostraram sersignificantes.

Também em 1999, Freedman⁴⁰, discorrendo sobre resinas “condensáveis”, colocou que as resinas compostas são vantajosas em relação ao amálgama por apresentarem adesão ao esmalte e à dentina, permitirem preparos cavitários mais conservadores e serem estéticas. As resinas “condensáveis”, por definição não deveriam ser assim denominadas, pois esses materiais não são passíveis de condensação. as, portanto, o processo é de acomodação. Os compósitos com essas características apresentam baixo desgaste, facilidade de inserção e definição de anatomia e baixa contração de polimerização, o que pode ser justificado pelo maior tamanho das partículas. O compósito SureFil (Dentisply Caulk) apresenta 82% de partículas de carga com tamanho de 0,04 μm a 10 μm . O compósito Solitaire (Haereus Kulzer) possui partículas porosas com tamanho de 2 μm a 20 μm envoltas por uma matriz de resina que, ao se polimerizar, forma uma estrutura extremamente interligada que se assemelha ao vidro, elevando a resistência e a estabilidade molecular do

material. O compósito Alert (Jeneric Pentron) apresenta 83% de material vítreo microfilamentar, com filamentos que podem medir de 40 μm a 60 μm e diâmetro de 6 μm a 10 μm , combinados com partículas de alumínio silicato de bário e sílica coloidal para ajustar características manipulativas.

Também nesse ano, Ferrero et al.³⁸ avaliaram a contração de polimerização volumétrica de três resinas compostas (Z-100, Solitaire e Alert) por meio de picnômetro. O aparato foi colocado em banho de água à temperatura de $25^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e a resina colocada em seu interior e fotopolimerizada, de modo que a contração era avaliada pela queda das curvas de água no capilar. Os dados submetidos à análise estatística mostraram não haver diferença entre os materiais estudados.

Cardoso et al.¹², ainda em 1999, avaliaram a resistência à flexão das resinas compostas: Z100 (3M), Alert (Jeneric Pentron), Alert nova fórmula (Jeneric Pentron), Solitaire (Kulzer), Sculp-it (Jeneric Pentron), Definite (Degussa), Pyramid Esmalte (Bisco), Pyramide Dentina (Bisco), Filtek P60 (3M), Filtek Z250 (3M), Surefil (Dentisply) e Prodigé Condensable (Kerr). Foram confeccionados corpos-de-prova com as dimensões de 10 mm X 2 mm X 1 mm, polimerizados por 40 segundos, armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas e submetidos ao ensaio de flexão em três pontos com velocidade de 0,5 cm/min. A análise dos dados mostrou que houve diferença entre os

materiais, sinalizando para a superioridade das resinas condensáveis sobre as híbridas, com exceção da resina Solitaire, que exibiu pior comportamento.

Silva Neto et al.⁸⁸, também nesse ano, estudaram a dureza das resinas compostas Alert (Jeneric Pentron), Prodigy (Kerr), Tetric Ceram (Vivadent), Degufil Mineral (Degussa) e Solitaire (Kulzer), comparando-as com as resinas Z100 (3M), TPH (Dentsply) e Durafil (Kulzer), com concentração de partículas alta, média e baixa, respectivamente. Os maiores valores de dureza média foram obtidos para as resinas Z100 (98,77 VHN) e Alert (83,19 VHN), enquanto as demais mostraram médias menores e estatisticamente iguais à da resina TPH e superiores à da resina Durafil.

Ainda em 1999, Zitto et al.¹⁰⁵ avaliaram a microinfiltração *in vitro* de três resinas compostas condensáveis: Ariston pHc (Vivadent), Alert (Jeneric Pentron) e Solitaire (Kulzer). Foram utilizados molares permanentes hígidos com cavidades nas paredes proximais com término cervical 2 mm abaixo da junção cimento/esmalte. Os dentes foram divididos em quatro. Para os grupos que utilizaram as resinas Alert e Solitaire, foi aplicado o sistema adesivo Bond-One e para os outros dois grupos, foi utilizada a resina Ariston pHc, sendo para um aplicado o sistema adesivo Bond-One e, para o outro, o sistema adesivo que acompanha essa resina. Após a restauração, os dentes foram

submetidos a 700 ciclos térmicos e armazenados em corante por 48 horas à temperatura de 37°C. Após esse período, os dentes foram preparados para observação em microscopia ótica e os dados tratados estatisticamente pelo método de Kruskal Wallis, mostrando que as resinas Ariston pHc e Alert associadas a adesivo Bond-One apresentaram os menores níveis de infiltração, seguidas da resina Ariston pHc com seu próprio sistema adesivo. A resina Solitaire exibiu os maiores índice de infiltração.

Nesse mesmo ano, Carvalho et al.¹³ estudaram a profundidade de polimerização de cinco resinas pelo teste de dureza Knoop. Os corpos-de-prova cilíndricos de 5 mm X 5 mm foram polimerizados e armazenados ao abrigo da luz por 24 horas. Em seguida, as amostras foram fixadas em uma base de resina acrílica e desgastadas longitudinalmente até a porção central, para então receberem polimento e limpeza em ultra-som. O ensaio de dureza foi realizado em quatro camadas de 1 mm. Os resultados para o material Z-100 mostraram que a dureza, na camada mais superficial (1mm), foi diferente da última (4mm), enquanto, para os demais (Alert, P-60, Z 250 e Solitaire) foi observada diferença entre os vários níveis de profundidade. A ordem decrescente de dureza foi: Alert > Z100 > P-60 = Z 250 > Solitaire.

Ainda em 1999, Pinheiro et al.⁷⁶ realizaram estudo clínico em 100 restaurações de Classe I e II em pré-molares e molares após 6 a 7 meses da inserção, considerando a extensão

da cavidade e a localização do término cervical. Foram classificadas como satisfatórias 73% das restaurações, enquanto 14% necessitavam algum reparo e 13% tinham indicação de substituição. Considerando o nível do término cervical, foi observado que 76,2% das que terminavam em esmalte apresentavam-se satisfatórias, enquanto as que tinham término em dentina/cimento alcançaram 62,5%. Dentre as restaurações em cavidades conservativas apenas 5,5% mostraram-se insatisfatórias, ao passo que as de média extensão alcançaram 22% e as extensas 48,6%. A cárie secundária foi o principal motivo de falha das restaurações.

Bonilla et al.⁶, em 1999, estudaram a resistência à propagação de fratura das seguintes resinas compostas indicadas para dentes posteriores: Alert, Bisfil II, Charisma, Glacier, Heliomolar, Prodigy, Solitaire, Surefil, Tetric Ceram e Z-100. A determinação da tenacidade foi realizada em ensaio de flexão de três pontos em uma viga com entalhe central. O ensaio foi realizado em máquina Instron e a carga máxima registrada para o cálculo do parâmetro K_{Ic} , determinando a tenacidade dos materiais. Os maiores valores médios foram obtidos com as resinas Surefil e Z-100, enquanto os menores foram registrados para os materiais Heliomolar e Charisma, ficando os demais divididos entre três grupos intermediários a esses extremos.

As resinas condensáveis também foram objeto de

investigação de Ruddell et al.⁸⁵, ainda em 1999, quando avaliaram propriedades mecânicas e desgaste de cinco compósitos: Surefil, Solitaire, Alert, Experimental condensable (Kerr) e Herculite (controle). A resina Solitaire apresentou menores valores médios de resistência à flexão e módulo de flexão que os demais materiais, que exibiram comportamento semelhante ao da resina híbrida (controle).

Lohbauer et al.⁶⁰, também nesse ano, estudaram a resistência à flexão de oito resinas compostas (Ariston, Tetric Ceram, Pertac, Arabesk Top, Solitaire, Surefil, Definite e Heliomolar) em ensaios de 3 e 4 pontos e pela análise de Weibull, cujo módulo de elasticidade representa a homogeneidade do material e a tensão se refere a probabilidade de falha de 63,2%. Os resultados revelaram que os compósitos Tetric Ceram e Solitaire apresentaram-se menos homogêneos, tendo o último exibido a menor resistência à flexão.

Kerby et al.⁵², também em 1999, avaliaram a tenacidade (K_{IC}) de três resinas compostas indicadas para dentes posteriores (SureFil, Alert e Solitaire), uma de micropartículas (Heliomolar), uma híbrida (Herculite) e uma processada em laboratório (Belleglass). Os corpos-de-prova pré-entalhados foram armazenados em água destilada, à temperatura de 37°C, durante 7 dias, e o ensaio mecânico realizado em máquina Instron à velocidade de 0,5 mm/min. O material que apresentou os melhores

resultados foi a resina Alert, seguida dos materiais Belleglass, SureFil e Herculite, os quais foram semelhantes entre si e diferentes das resinas Heliomolar e Solitaire, que apresentaram os valores médios mais baixos.

Ainda em 1999, MacGregor et al.⁶² estudaram algumas propriedades mecânicas de cinco resinas compostas (Alert, SureFil, Solitaire, TPH e Heliomolar). Os corpos-de-prova foram armazenados em água a 37°C, em ambiente isento de luz, durante 7 dias. Nos ensaios de resistência à tração diametral e à compressão, a resina TPH apresentou os maiores valores médios, seguida das resinas Alert e SureFil, que tiveram médias estatisticamente iguais, sendo as menores médias obtidas para os materiais Heliomolar e Solitaire. No teste de resistência à compressão, a maior média foi obtida com a resina Surefil e a menor com o compósito Heliomolar. Os demais materiais mostraram comportamentos intermediários a estes e similares entre si.

O efeito do protocolo de cura em dois passos sobre a redução do estresse da contração de polimerização foi estudado por Feng & Suh³⁴, também em 1999. Os materiais foram inseridos em um anel de acrílico, ao qual foi acoplado um dispositivo para a medida da deformação, e o processo de polimerização foi realizado em duas etapas. O primeiro estágio do processo foi variável para cada material: para a resina Alert, foi aplicada luz com 200 mW/cm²

por 2 segundos; para os materiais Herculite XRV e Prodigy 200 mW/cm² por 3 segundos; para a Renew, 200 mW/cm² por 4 segundos; para os compósitos SureFil e Z-100, 100 mW/cm² por 3 segundos e para a resina TPH Spectrum, 100 mW/cm², por 2 segundos. O segundo estágio foi o mesmo para todos os materiais, 500 mW/cm² durante 40 segundos. Os resultados mostraram que houve redução da tensão de contração de polimerização residual entre 10% (Alert) e 34% (Prodigy).

Knobloch et al.⁵⁴, também nesse ano, estudaram a resistência ao desgaste de seis resinas compostas para dentes posteriores e do esmalte humano. Corpos-de-prova cilíndricos foram preparados e armazenados em água destilada a 37°C por 7 dias, e a razão de desgaste relativo foi determinada pelo uso de aparato pino sobre disco em dois corpos usando disco de diamante (30 µm). A média de desgaste (µm/rotação) indicou diferenças entre os materiais, sendo a menor média encontrada para a resina processada em laboratório Concept, seguida da resina Heliomolar (micropartícula), Solitaire e SureFil. Os compósitos Alert e Herculite exibiram os maiores valores médios de resistência ao desgaste.

Também estudando resistência ao desgaste, em 1999, Dang & Sarret²¹ compararam, *in vitro*, o comportamento de resinas compostas chamadas *condensáveis* e *flow*. Os corpos-de-prova para o teste de desgaste tinham a forma de roda girando contra

outra composta de sementes de painço e arroz misturados com água. O desgaste foi medido, em micrometros após 250 rotações. A resina Z-100 apresentou a maior resistência ao desgaste, seguida de Alert e SureFil, as quais mostraram-se superiores à resina Solitaire, que sofreu menos desgaste apenas quando comparada às resinas do tipo *flow*.

Suzuki⁹², em 1999, da mesma forma, estudou *in vitro* a resistência ao desgaste das resinas *condensáveis*. Foram preparadas cavidades do tipo Classe I, com diâmetro de 4 mm e 3 mm de profundidade, em molares humanos extraídos, com superfície oclusal aplanada. Uma força de 75N foi aplicada verticalmente à superfície, à frequência de 1,2 Hz. As resinas SureFil e Alert modificada demonstraram mínimo desgaste, enquanto a resina Solitaire foi superior somente à resina controle (Prisma TPH).

A adaptação marginal da resina Alert nova fórmula foi comparada com a do compósito P 50 por Faler & Mazer³¹, também em 1999. Foram preparadas cavidades de Classe II MO e DO em molares humanos extraídos, as quais foram restauradas de acordo com as instruções dos fabricantes e submetidas a ciclagem mecânica (100.000 ciclos a 70N) e térmica (500 ciclos a 5° e 55°C). Após esse tratamento, os dentes foram imersos em fucsina básica a 0,5% e seccionados nos sentidos méso-distal e vestibulo-lingual para a quantificação da infiltração. Os resultados mostraram que

não houve diferença estatística entre as margens oclusal e gengival, nem tampouco entre os dois materiais estudados.

Kelsey et al.⁵¹, ainda nesse ano, estudaram a tenacidade, as resistências à tração diametral, à flexão e o módulo de elasticidade de cinco compósitos indicados para dentes posteriores. Os corpos-de-prova foram armazenados em água deionizada, durante 35 dias, em temperatura de 37°C. No ensaio de resistência à tração diametral não houve diferença estatística entre os materiais. A resina Alert apresentou os maiores valores de K_{IC} e módulo de elasticidade, mas baixa resistência à flexão. As resinas SureFil e Z-100 exibiram boa resistência à flexão e módulo de elasticidade intermediário. O compósito Prodigy teve elevada resistência à flexão e baixo módulo de elasticidade e a resina Solitaire apresentou os mais baixos valores médios nessas propriedades.

Também em 1999, Aw & Nicholls⁴ estudaram a contração de polimerização de três resinas compostas, chamadas comercialmente de condensáveis: Alert, SureFil e Solitaire. Foram tomadas medidas lineares por meio de microscópio. Os dados analisados estatisticamente mostraram médias diferentes, tendo o compósito Alert mostrado a menor contração média (0,430%), seguido do material SureFil (0,499%), e a resina Solitaire a maior contração (0,545%), comparável à de resinas compostas híbridas tradicionais como Z 100 e TPH.

Ainda no ano de 1999, Perry & Kugel⁷³ realizaram uma avaliação clínica de um ano em restaurações de Classe II, em primeiros e segundos molares sem proteção pulpar e restaurados com o compósito SureFil associado ao sistema adesivo Prime&Bond 2.1. As avaliações de retenção, infiltração marginal, integridade marginal, estabilidade de cor, resistência à abrasão, manchamento e textura superficial e sensibilidade pós-operatória foram feitas imediatamente após a restauração e nos períodos de 3, 6, 9 e 12 meses. Até 9 meses, todas as 24 restaurações foram classificadas com Alfa e, aos 12 meses, dos 20 dentes examinados, 3 foram classificados como Bravo para a categoria manchamento superficial.

3 - PROPOSIÇÃO

Considerando as limitações impostas pelas deficiências que as resinas compostas ainda apresentam, principalmente quanto ao selamento marginal e resistência mecânica, destacadas na revisão da literatura, este trabalho propõe avaliar sete materiais estéticos diretos indicados para restaurações de dentes posteriores quanto às seguintes propriedades:

- 1 - conteúdo porcentual de partículas inorgânicas por massa e volume;
- 2 - contração de polimerização;
- 3 - resistência à flexão.

4 - MATERIAL E MÉTODO

4.1 – Materiais estudados

Foram estudadas sete resinas compostas ativadas por luz, indicadas pelos fabricantes para uso em dentes posteriores, descritas na Tabela 1, com sigla, marca comercial, fabricante, cor e número de lote.

Tabela 1 – Materiais estudados

Sigla	Marca	Fabricante	Cor	Lote
Al	Alert	Jeneric/Pentron	A2	N15AB
Ar	Ariston pHc	Vivadent	Universal	A16397
So	Solitaire	Heraeus Kulzer	A2	36
D	Definite _{OMC}	Degussa-Hüls	A2	212
P	Filtek P-60	3M	B2	9AF
Z	Z 100	3M	A2	9PW
T	Tetric Ceram	Vivadent	A2	A20310

4.2 – Método

4.2.1 – Ensaio comparativo de contração de polimerização

Para este ensaio foi desenvolvida uma metodologia que teve por objetivo comparar a contração linear de polimerização dos materiais, contidos em um anel plástico e sob leve compressão (Figura 1).

Para a obtenção do anel, foi utilizado um tubete plástico de anestésico seccionado, o que veio a gerar um cilindro oco de 7,0 mm de altura e 6,75 mm de diâmetro interno. Dois discos de amálgama foram construídos, sendo um para fechar a extremidade inferior do anel e outro para ser colocado sobre a resina composta a ser inserida. Para a obtenção desses discos metálicos, foi utilizada liga para amálgama Permite C (SDI), e outro anel plástico, obtido do mesmo tubete, foi empregado como matriz. O amálgama, fornecido em cápsulas, foi triturado mecanicamente e condensado no interior da matriz, e, após a cristalização, suas faces planas foram regularizadas e polidas com lixas de carbeto de silício, até obter-se a espessura de 2 mm. O disco a ser adaptado na porção inferior do anel apresentava diâmetro igual ao do anel plástico (6,75 mm) para que ficasse precisamente adaptado às paredes internas da extremidade inferior do anel, promovendo efetivo selamento do conjunto (Fig. 1a). O outro disco também foi acabado e polido para obter-se espessura de 2 mm e teve sua face lateral cuidadosamente reduzida e polida com lixas de carbeto de silício, até atingir diâmetro de 6,70 mm, para que deslizasse no interior do anel, sem restrições, porém sem excessiva folga, funcionando como um êmbolo sobre a resina a ser inserida no anel. No centro de uma das faces planas deste disco metálico foi feita uma depressão, em forma de hemi-esfera, para adaptação da ponta ativa do equipamento de medida das alterações lineares (Fig.1b).

Para que fosse introduzida uma quantidade de resina composta aproximadamente igual para cada corpo-de-prova, foi

feita uma referência, na forma de um sulco, na face externa do anel dois milímetros distante de sua extremidade superior (Figura 1c).

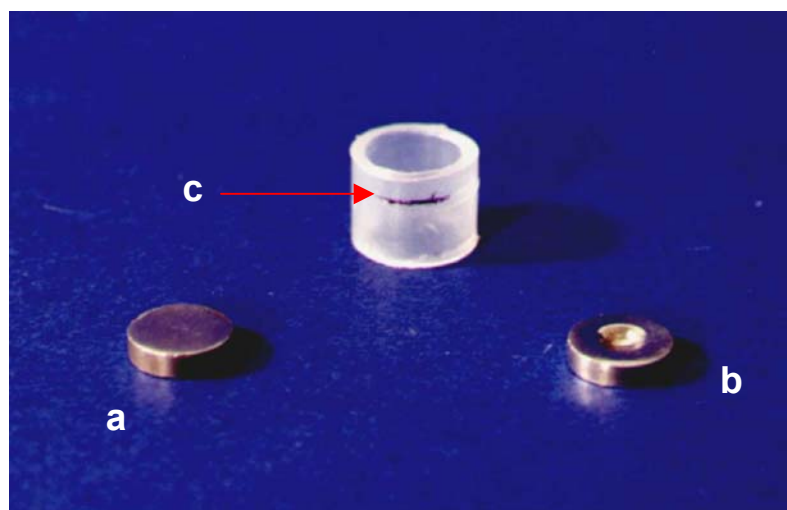


FIGURA 1 – Anel utilizado para ensaio comparativo de contração de polimerização. a) disco metálico inferior; b) êmbolo; c) sulco de referência

Previamente à inserção do material, o anel era isolado com vaselina pastosa, com o auxílio de pincel, com a finalidade de reduzir o atrito entre o material e as paredes laterais durante a contração de polimerização.

O anel era preenchido com o material até a linha de referência, em sala sem iluminação artificial e luz natural da manhã, com persianas fechadas. O ensaio, portanto, foi realizado em ambiente relativamente escuro, com luz suficiente apenas para visualização dos materiais e equipamentos, com o objetivo de

reduzir o risco de início do processo de polimerização por influência da luminosidade do ambiente.

Imediatamente após o preenchimento do anel, o disco metálico (êmbolo) era posicionado sobre a resina composta e o conjunto levado ao equipamento de medida (Fig. 2) para polimerização por luz e registro da contração linear.

O registro das alterações durante a polimerização foi feito por meio de instrumento eletrônico de medida linear, marca Tesa (Tipo GND), que amplifica e indica, em valores analógicos, os sinais produzidos pelo deslocamento da ponta do apalpador, com sensibilidade ajustada para 1 μm .

O apalpador foi montado em uma base dotada de mecanismo de movimentação vertical com dispositivo de ajuste fino do ponto de partida (zero). Após o posicionamento do anel na mesa da base e apalpador, aguardou-se 30 segundos para que o conjunto estabilizasse. Em seguida, foi ajustado o ponto de partida (zero), tomando-se o cuidado de manter o material isolado da luz ambiente por meio de um invólucro plástico de cor escura durante este procedimento. Imediatamente, procedeu-se à fotopolimerização por meio do aparelho XL 2500 (3M), incidindo-se a luz, lateralmente, por 10 segundos em cada metade, alternando-se com a face oposta, até completar 60 segundos de polimerização.

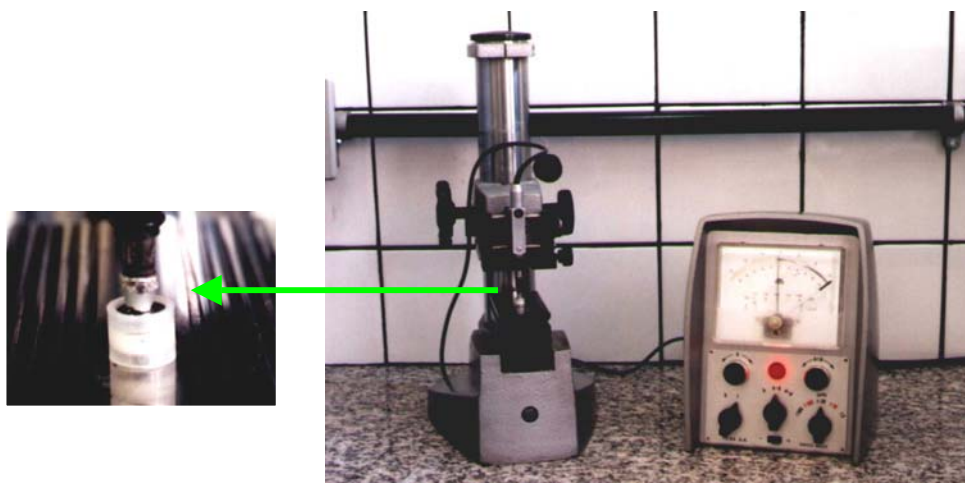


FIGURA 2 – Dispositivo para medida da contração de polimerização

Durante os 60 segundos de fotopolimerização, o valor da contração linear era monitorado e a contração final registrada em micrometros. O conjunto, então, era desmontado e o corpo-de-prova retirado do anel.

Em seguida, a altura do corpo-de-prova era medida com auxílio do Projetor de Perfis, marca Nikon, com sensibilidade de 1 μm , fornecendo sua medida final.

Com base nas medidas lineares da contração e do corpo-de-prova polimerizado, foi calculado o percentual de contração segundo a seguinte equação:

$$\text{Contração de polimerização (\%)} = (a / a + b) \cdot 100$$

onde:

a = medida linear da contração de polimerização,

b = medida final do corpo-de-prova,

a + b = medida inicial do corpo-de-prova.

Foram obtidos 70 corpos-de-prova, sendo 10 de cada material, distribuídos aleatoriamente por sorteio.

4.2.2 – Determinação do conteúdo de partículas inorgânicas por volume e massa

Neste ensaio foram selecionados aleatoriamente cinco corpos-de-prova de cada material, utilizados no teste de contração de polimerização.

Para a determinação do porcentual volumétrico de partículas inorgânicas, os volumes dos corpos-de-prova de resina composta e de suas respectivas partículas inorgânicas de carga foram calculados através de um método desenvolvido com base no Princípio de Arquimedes. Este postula que, quando um objeto é imerso num fluido, uma força de deslocamento vertical (empuxo) age sobre ele, a qual é equivalente ao peso do fluido que é deslocado por seu volume.

Assim, aplicando-se esse princípio, é possível obter o volume de um corpo conhecendo-se sua massa em ambiente normal e imersa em água. A diferença entre a massa do corpo ao ar e imersa corresponde à massa de água deslocada. Como a densidade da água é aproximadamente 1g/cm^3 , o volume do corpo-de-prova corresponde numericamente ao valor da massa da água deslocada.

Foi feita, inicialmente, a pesagem do corpo-de-prova em balança analítica Sartorius, com sensibilidade de 0,0001g, determinando a massa da resina composta polimerizada (Fig. 3a).

Para a determinação da massa do corpo-de-prova de resina composta imersa em água, foi feito um dispositivo para ser adaptado à mesma balança de precisão, em substituição ao prato para pesagem. Esse artefato consistia de uma pequena peneira de aço inoxidável soldada a uma haste que, por sua vez, era adaptada à balança no suporte para dependurar o prato. No momento da pesagem, essa peneira era imersa em um recipiente de vidro contendo água destilada e degasada por fervura, e a massa do corpo-de-prova imerso era medida (Figura 3b), tomando-se o cuidado de eliminar eventuais bolhas de ar aderidas ao corpo-de-prova ou à peneira.

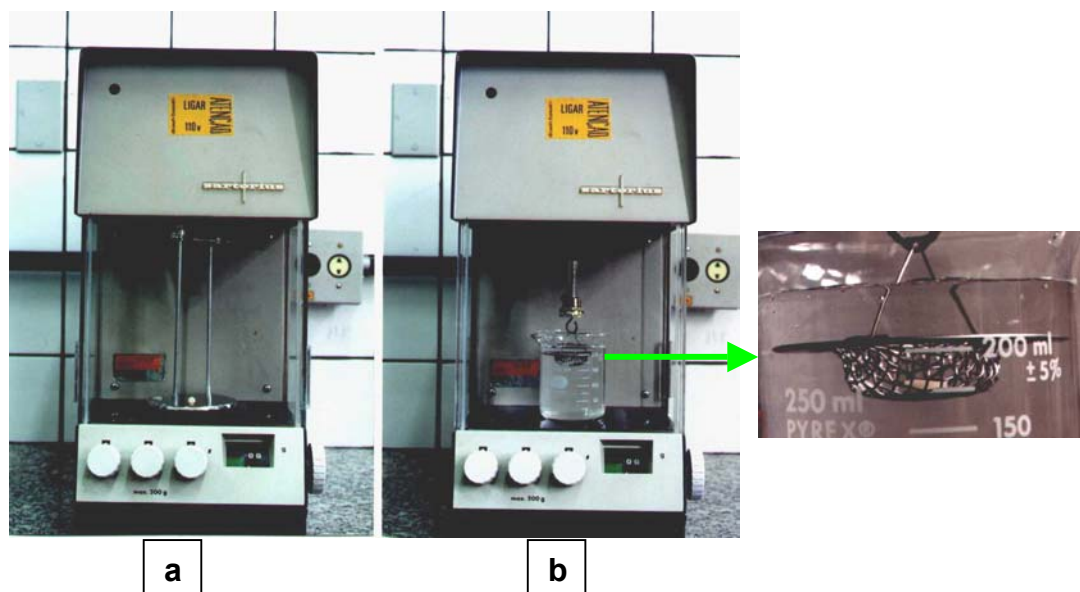


FIGURA 3 – Pesagem do corpo-de-prova ao ar (a) e imerso em água (b)

Com base nesses dados, o cálculo do volume do corpo-de-prova de resina composta foi realizado segundo a seguinte equação:

$$V_{rc} = m_{rc} - m_{rci}$$

Onde:

V_{rc} = volume do corpo-de-prova de resina composta,

m_{rc} = massa do corpo-de-prova de resina composta ao ar,

m_{rci} = massa do corpo-de-prova de resina composta imersa.

Em seguida, esses corpos-de-prova foram aquecidos em forno para fundição, marca Bravac, com controle digital, lentamente, a partir da temperatura ambiente até atingir 700°C, num período de 3 horas. Após o desligamento do forno e abertura da porta, permaneceram nesta condição por 90 minutos para, na seqüência, serem transferidos para dessecador, por 1 hora, até o completo resfriamento.

O resíduo inorgânico resultante apresentava-se íntegro na forma de pastilha, cuja estrutura permitia sua manipulação com pinça clínica sem que fosse verificada perda de substância. Imediatamente após o processo de resfriamento, a massa das partículas inorgânicas (m_p) foi determinada em balança de precisão, como descrito anteriormente.

A obtenção do volume das partículas inorgânicas foi mais complexa, pois o volume do resíduo inorgânico compreende os volumes das partículas e dos poros deixados pela eliminação da fase orgânica da resina composta. Para se eliminar o efeito da porosidade durante a pesagem em imersão, o resíduo inorgânico

foi armazenado em água destilada por 3 dias para que os poros fossem preenchidos por água. O período de armazenagem foi estabelecido através de um monitoramento diário de ganho de massa, medido em balança de precisão, até que o processo estabilizasse, sendo estabelecido este prazo por ser o mais longo obtido entre os diferentes materiais.

Como a água era o meio onde se realizava a pesagem e o espaço deixado pelos poros era preenchido pelo mesmo fluido (de mesma densidade), a massa imersa medida correspondia, exclusivamente, à das partículas inorgânicas.

Assim, o volume das partículas inorgânicas (V_p), corresponde à diferença entre a massa das partículas inorgânicas ao ar (m_p) e imersa (m_{pi}) após armazenagem em água.

$$V_p = m_p - m_{pi}$$

Com base na determinação dos volumes da resina composta e das partículas inorgânicas, foi calculado o percentual volumétrico da fase inorgânica de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ por Volume} = (V_p / V_{rc}) \cdot 100$$

O conteúdo de partículas de carga por massa foi determinado a partir da massa da resina composta e da massa das partículas inorgânicas, medidas ao ar, estabelecidas previamente, e o cálculo percentual realizado de acordo com a equação a seguir:

$$\% \text{ por massa} = (m_p / m_{rc}) \cdot 100$$

4.2.3 – Ensaio de resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão foi conduzido de acordo com os critérios da norma ISO nº 4049:1988⁴⁷ para materiais restauradores à base de resina composta, tanto para a confecção dos corpos-de-prova, como para a construção dos dispositivos empregados no teste de flexão por 3 pontos.

Os corpos-de-prova foram obtidos a partir de uma matriz metálica, composta por uma base de alumínio e uma lâmina de aço inoxidável bipartida (Fig. 4a), a qual, encaixada na base, resultava em uma cavidade com 25 mm de comprimento, 2 mm de largura e 2 mm de altura (Fig. 4b).

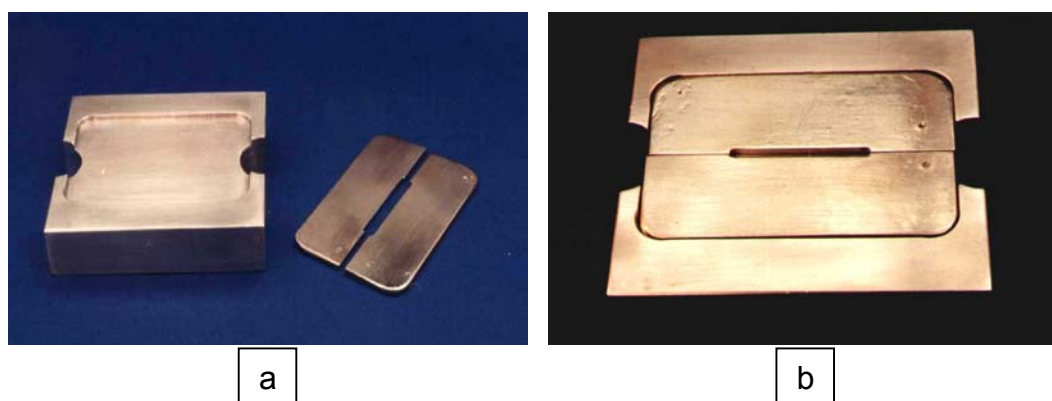


FIGURA 4 – Matriz utilizada para confecção dos corpos-de-prova

Previamente à introdução da resina, uma tira de poliéster (Odahcam) foi adaptada sob a lâmina de aço bipartida para facilitar a remoção do corpo-de-prova. Em seguida, o material restaurador foi inserido na cavidade com espátula de Thompson e acomodado energicamente com auxílio de um condensador nº 1

(Duflex) até o preenchimento com mínimo excesso, sobre o qual outra tira de poliéster foi colocada e o material pressionado por meio de uma lâmina de vidro (75 mm X 50 mm X 1 mm) com pressão digital. O conjunto, então, era estabilizado por um disco com massa de 1 kg, que possuía uma abertura a permitir o acesso da ponta do aparelho fotopolimerizador a toda a área do material inserido (Figura 5).

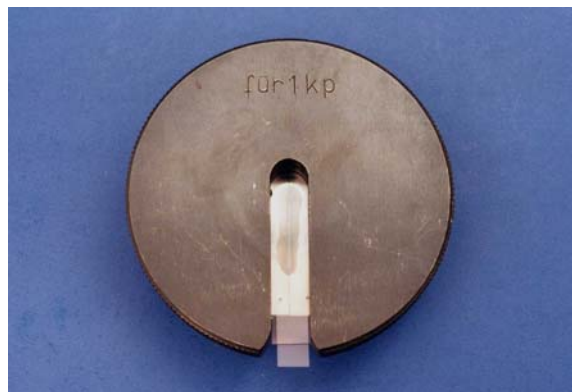


FIGURA 5 – Material inserido na matriz

Foi utilizado o aparelho fotopolimerizador XL 2500 (3M), com ponta de 8 mm, cuja intensidade média, durante os ensaios, foi de 670 mW/cm². A polimerização foi realizada seqüencialmente em quatro segmentos, por 10 segundos, em quatro etapas, totalizando 40 segundos de polimerização de cada secção. Nessas condições, o corpo-de-prova permaneceu em repouso por 15 minutos e, em seguida, foi cuidadosamente separado da matriz e armazenado em água destilada à temperatura de 37°C, em estufa de cultura Fanem (modelo 002 CB), por 24 horas.

Transcorrido esse período, procedeu-se ao ensaio de flexão de acordo com a Norma ISO 4049:1988⁴⁷, que preconiza um aparato constituído de uma base fixada ao mordente inferior da máquina de ensaios mecânicos, composta de dois apoios de secção circular de 2 mm de diâmetro montados paralelamente, com 20 mm de distância entre seus centros. Um outro dispositivo, acoplado ao mordente superior do equipamento, também com secção circular com diâmetro de 2 mm, foi construído para ser aplicado no centro do corpo-de-prova que era colocado sobre os apoios do dispositivo inferior (Figura 6).

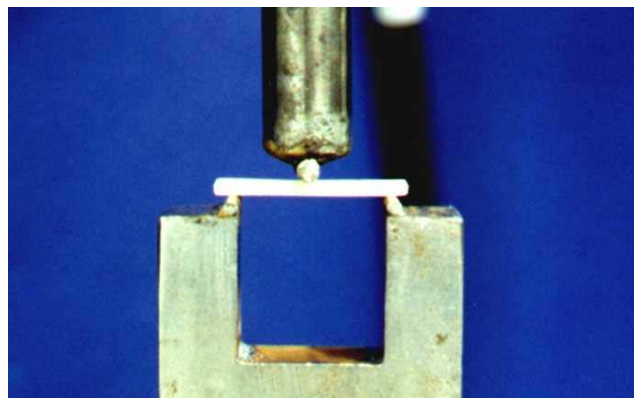


FIGURA 6 – Dispositivo para o ensaio de flexão.

O ensaio de flexão foi feito na máquina de ensaios mecânicos MTS 810, de acionamento hidráulico, dotada de célula de carga de 1 kN, acoplada a sistema informatizado para controle e registro dos resultados. Foi configurado o teste para exercer carga compressiva à velocidade de 0,75 mm/min até a fratura, e a carga máxima em Newtons registrada.

O cálculo da resistência à flexão (MPa) foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$\sigma = 3 F l / 2 b h^2$$

onde:

F é a carga máxima (N),

l é a distância (mm) entre os apoios,

b é largura do corpo-de-prova (mm),

h é a altura do corpo-de-prova (mm).

Dessa maneira, foram obtidos 70 corpos-de-prova, distribuídos aleatoriamente por sorteio, sendo 10 de cada material.

5 – RESULTADO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores originais de conteúdo percentual de partículas de carga em volume.

Tabela 2 – Conteúdo percentual de partículas de carga em volume.

Réplica	Al	Ar	So	D	P	Z	T
1	67,37	61,93	47,70	53.50	62.61	68.01	57.05
2	68,50	64,19	47,37	52.53	62.50	63.50	57.26
3	66,75	60,02	47,21	55.38	62.37	63.92	57.39
4	66,88	60,33	47,55	55.72	61.41	63.30	57.20
5	66,80	58,92	48,97	55.00	62.83	67.62	57.25

Aos dados foi aplicada a análise de variância (Tabela 3), que acusou diferença significativa para o fator Material.

Tabela 3 - Análise de variância para conteúdo percentual de partículas de carga

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado Médio	(F)	Prob. (HO)
Material	1363,2047	6	227,2008	123,83	0,000%
Resíduo	51,3734	28	1,8348		
Variação Total	1414,5781	34			

Para verificar as diferenças entre os materiais foi aplicado o teste de Tukey, tendo sido calculado o valor crítico de 2,7179, dando origem à Tabela 4, que mostra os valores médios para cada material assim como a comparação entre materiais.

Tabela 4- Valores médios de conteúdo percentual de volume de partículas de carga, desvio padrão e contraste entre materiais por meio do valor crítico de Tukey.

Material	Valores Médios (%)	Desvio Padrão	Contraste
Al	67,260	0,735	A
Z	65,270	2,020	A
P	62,344	0,701	B
Ar	61,078	0,766	B
T	57,228	0,656	C
D	54,426	0,596	D
S	47,760	0,556	E
Erro padrão: 2,236			
Valor crítico de Tukey: 2,717			

De acordo com a Tabela 4, é possível verificar que os maiores valores médios de percentual de volume de partículas de carga foram obtidos para os materiais Al e Z, seguidos pelas resinas P e Ar, estatisticamente iguais entre si, e pelos materiais T, D e S, com os menores valores médios.

Estão apresentados, em seguida, na Tabela 5, os valores originais de percentual de conteúdo de carga por peso (massa) dos materiais estudados.

Tabela 5 – Conteúdo percentual de partículas de carga por massa.

Réplica	Al	Ar	So	D	P	Z	T
1	79,33	75,22	63.20	72.26	77.61	79.37	74.55
2	79,41	75,19	62.88	72.80	77.54	79.71	74.42
3	79,44	75,03	62.95	72.71	77.63	79.95	74.81
4	79,47	75,50	63.19	72.76	77.21	79.15	74.80
5	79,65	75,00	63.79	72.80	77.62	79.88	74.68

Aos dados originais foi aplicada a análise de variância (Tabela 6) acusando diferença estatisticamente significativa para o fator em estudo.

Tabela 6 - Análise de variância para conteúdo percentual de partículas de carga por massa.

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado Médio	(F)	Prob. (HO)
Material	956,4281	6	159,4047	2705,01	0,000%
Resíduo	1,6500	28	0,0589		
Variação Total	958,0781	34			

Para visualização das diferenças entre os materiais foi aplicado o teste de Tukey para a determinação do valor crítico de 0,48696. A Tabela 7 apresenta os valores médios de conteúdo percentual de carga por peso, com o contraste entre os materiais.

Tabela 7 - Valores médios de conteúdo porcentual de partículas de carga por massa, desvio padrão e contraste entre materiais por meio do valor crítico de Tukey.

Material	Valores Médios	Desvio Padrão	Contraste
Z	79,612	0,118	A
Al	79,460	0,199	A
P	77,522	0,057	B
Ar	75,188	0,071	C
T	74,652	0,064	D
D	72,666	0,059	E
S	63,202	0,055	F
Erro padrão: 0,108			
Valor crítico de Tukey: 0,486			

O Teste de Tukey mostrou que as resinas Z e Al apresentaram os maiores valores médios de conteúdo de partículas de carga por massa, seguidas dos materiais P, Ar, T, D e S menores.

Na Tabela 8 estão apresentados os valores originais de porcentual de contração de polimerização dos materiais estudados.

Tabela 8 - Dados originais de contração de polimerização (%), com as respectivas médias

Repetições	Al	Ar	S	D	P	Z	T
1	0.76	1.40	1.51	0.91	1.13	1.13	1.59
2	0.74	1.51	1.37	0.90	1.14	1.10	1.50
3	0.78	1.42	1.37	1.01	1.12	0.98	1.48
4	0.70	1.35	1.40	1.01	1.04	1.15	1.56
5	0.98	1.49	1.48	1.06	1.05	1.08	1.40
6	0.83	1.43	1.51	1.04	1.08	1.08	1.48
7	0.82	1.28	1.36	1.00	0.98	1.15	1.56
8	0.75	1.42	1.44	0.99	1.07	1.12	1.54
9	0.81	1.55	1.40	1.05	1.01	1.20	1.53
10	0.78	1.47	1.37	0.94	1.11	1.02	1.45

Com base nestes dados, foi aplicada análise de variância (Tabela 9) que mostrou ter ocorrido significância para o fator em estudo.

Tabela 9 - Análise de variância para contração de polimerização

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado Médio	(F)	Prob. (HO)
Material	4,3091	6	0,7182	172,18	0,000%
Resíduo	0,2628	63	0,0042		
Variação Total	4,5719	69			

Para verificar-se o contraste entre os materiais foi aplicado o teste de Tukey, tendo sido calculado o valor crítico de 0,08826. Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios de contração de polimerização, juntamente com o contraste entre os materiais.

Tabela 10 - Valores médios de contração de polimerização (%), desvio padrão e contraste entre materiais por meio do valor crítico de Tukey.

Material	Valores Médios	Desvio Padrão	Contraste
Al	0,795	0,076	A
D	0,991	0,078	B
P	1,073	0,059	B C
Z	1,101	0,056	C
S	1,421	0,053	D
Ar	1,432	0,064	D
T	1,509	0,058	D

Erro padrão: 0,0249

Valor crítico de Tukey: 0,088

Esta Tabela mostra que o material Al apresentou a menor média de contração de polimerização, seguido dos materiais D e P, estatisticamente iguais entre si, enquanto os materiais S, Ar e T mostraram os maiores valores médios. A resina Z apresentou valor médio intermediário, estatisticamente igual a P e diferente da média das demais.

Os dados originais de resistência à flexão estão apresentados na Tabela 11, aos quais foi aplicada a análise de variância (Tabela 12).

Tabela 11 – Valores originais de resistência à flexão (MPa)

Réplica	Al	Ar	S	D	P	Z	T
1	134,25	112,68	56,28	94,31	150,30	150,03	118,23
2	134,25	96,37	43,50	93,93	206,81	154,83	131,55
3	115,50	112,68	75,18	94,05	188,32	150,15	118,76
4	131,28	96,11	56,96	112,68	169,05	157,01	133,61
5	116,55	94,05	56,28	112,95	176,28	134,40	132,07
6	93,3	117,60	60,71	79,68	151,08	165,93	112,80
7	131,28	96,63	56,43	93,78	169,31	150,67	131,43
8	150,15	103,35	56,28	93,78	172,65	150,03	131,28
9	122,10	112,53	59,40	75,18	153,52	150,41	139,05
10	119,66	78,03	46,08	86,02	162,97	150,03	112,68

Tabela 12 - Análise de variância para resistência à flexão

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	G.L.	Quadrado Médio	(F)	Prob. (HO)
Material	85388,6250	6	14231,4375	94,17	0,000%
Resíduo	9520,7500	63	151,1230		
Variação Total	94909,3750	69			

Como foi acusada diferença significativa entre os materiais, foi aplicado o teste de Tukey que determinou o valor crítico de 16,74132. Aplicando-se este valor aos valores médios de resistência à flexão, foram estabelecidos os contrastes entre os materiais (Tabela13).

Tabela 13 - Valores médios de resistência à flexão (MPa), desvio padrão e contraste entre materiais por meio do valor crítico de Tukey.

Material	Valores Médios	Desvio Padrão	Contraste
P	170,028	15,078	A
Z	151,349	12,097	B
T	126,146	8,515	C
Al	124,895	12,155	C
Ar	102,003	17,655	D
D	93,636	7,831	D
S	56,710	9,530	E
Erro padrão: 3,887			
Valor crítico de Tukey: 16,728			

O Teste de Tukey mostrou que o maior valor médio de resistência à flexão foi obtido para o material P, seguido de Z. Na seqüência, os materiais T e Al apresentaram valores médios estatisticamente iguais e superiores aos dos compósitos Ar e D. A resina composta S apresentou a menor média de resistência à flexão, diferindo dos demais materiais.

6 - DISCUSSÃO

6.1- Conteúdo de partículas inorgânicas por massa e volume

A adição de partículas inorgânicas à fase resinosa dos compósitos tem sido o mais importante fator pesquisado para o desenvolvimento de novos materiais. Pouca atenção tem sido dispensada à composição da matriz, que até hoje é baseada no Bis-GMA, na grande maioria das resinas compostas comercializadas. Como afirmou Leinfelder⁵⁷, em 1997, a formulação de Bowen está disponível há mais de 30 anos, observando que sua química permanece relativamente inalterada e que, como resultado, suas propriedades mecânicas não têm melhorado substancialmente. Desde o princípio, os materiais experimentaram partículas com diferentes tamanhos, formas, distribuição, concentração e composição, o que tem gerado grandes discussões acerca de classificações e propriedades devido à grande variedade de formulações.

De fato, a literatura está repleta de dados que espelham a importância da fase inorgânica nas propriedades das resinas compostas, tais como: contração de polimerização, resistência mecânica, resistência ao desgaste e comportamento clínico de materiais com as mais diversas composições, formas e concentração de partículas.

Por isso, o conhecimento do conteúdo de partículas é de fundamental importância para a estimativa do desempenho clínico desses materiais. Essa informação, em geral, é fornecida pelo fabricante e pode ser expressa na forma de percentual de partículas em volume ou, mais comumente, pelo percentual em massa, por ser mais fácil de ser medido.

A fração volumétrica é a informação mais precisa, pois leva em consideração o espaço ocupado pela fase inorgânica, independente da densidade do material que compõe as partículas inorgânicas. Isso mostra que, muitas vezes, a simples informação do percentual em massa pode implicar em interpretação errônea, pois um material composto por partículas de elevada densidade pode conter, na verdade, grande quantidade de fase resinosa, implicando em maiores contração de polimerização e coeficiente de expansão térmica linear, apesar de apresentar alto percentual de carga, em massa.

Para a determinação do percentual por massa, em geral, empregam-se metodologias que estabelecem a massa de uma dada quantidade de resina composta, eliminam a fase orgânica, em temperaturas que variam de 500°C a 800°C, e que após o resfriamento, determinam a massa do resíduo inorgânico. Para o cálculo do percentual é feita a razão entre a massa do resíduo e massa da resina composta, multiplicada por 100.

Alguns autores, como Willems et al.¹⁰⁰, determinam a fração volumétrica pelo método indireto, descrito por Braem et al.⁹. que propuseram um modelo matemático, capaz de calcular o conteúdo volumétrico de carga inorgânica a partir da determinação do módulo de Young dinâmico.

A determinação direta do percentual volumétrico envolve metodologias, que utilizam princípios físicos para sua determinação. Ferracane et al.³⁶ (1985) determinaram o conteúdo de partículas de carga por massa e volume. Para tanto, dois espécimens de cada material estudado foram, inicialmente, pesados e aquecidos em forno à temperatura de 800°C durante 30 minutos e novamente pesados em balança com precisão de 0,0001 g. O cálculo da fração volumétrica foi feito com os mesmos espécimes; porém, antes do aquecimento em forno, foram determinados os volumes dos corpos-de-prova e, com base na massa inicial, foi determinada

a densidade da resina composta. Em seguida, o resíduo inorgânico obtido da eliminação da fase resinosa foi moído e as partículas suspensas em solventes orgânicos de densidade conhecida. Foi determinada, na seqüência, a densidade de 1 ml da suspensão de partículas em solvente. Com os dados de porcentual de partículas em massa, densidade da partícula e densidade da resina composta, o porcentual volumétrico das partículas de carga foi calculado segundo a seguinte equação: $\text{Vol \%} = (\rho_{\text{compósito}} / \rho_{\text{partícula}}) \times \% \text{ em massa}$. Segundo os autores, esse método é adequado para materiais com um único tipo de partícula; porém, quando dois ou mais tipos são combinados, pode ocorrer alguma sinterização entre as partículas durante o aquecimento e a densidade medida será uma média da densidade das partículas desses materiais.

Chung & Greener¹⁷ estabeleceram o porcentual volumétrico também por técnica gravimétrica, comparando a diferença de massa antes e após aquecimento em forno a 700°C para, em seguida, determinar a densidade das partículas em picnômetro. Calculou-se, então, a densidade da resina e, a partir desta, o volume das partículas.

Esses métodos aplicam o Princípio de Arquimedes, da mesma maneira que o por nós utilizado; porém, nossa metodologia depende exclusivamente de um forno e uma

balança de precisão, o que simplifica a determinação do conteúdo de percentual de partículas por volume.

Nossos resultados obtidos para a medida de percentual volumétrico por massa e volume estão apresentados na Tabela 14, juntamente com os dados fornecidos pelos fabricantes e algumas informações da literatura.

Como pode ser observado por essa Tabela, os dados por nós obtidos estão próximos aos informados pelos fabricantes e por outras fontes, o que pode demonstrar que o método proposto parece ser adequado e confiável para a determinação do conteúdo de partículas inorgânicas.

Tabela 14 – Percentual de partículas inorgânicas por massa e volume obtidas de diferentes fontes

	Al		Ar		S		D		P		Z		T	
	% m	% v	% m	% v	% m	% v	% m	% v	% m	% v	% m	% v	% m	% v
Adabo, G. L.	79,46	67,26	75,18	61,07	63,20	47,76	72,66	54,42	77,52	62,34	79,61	65,27	74,65	57,22
Fabricantes	84,00	-----	79,00	59,00	65,00	-----	77,00	-----	-----	61,00	-----	66,00	80,00	60,00
Kaufman, G. ⁴⁹	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	79,00	66,00	-----	-----
Bayne et al. ⁵	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	80,00	62,6	-----	-----
Miyazaki et al. ⁶⁵	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	84,50	66,00	-----	-----
Dent.Advisor ⁸¹	-----	70,00	-----	-----	66,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	66,00	-----	60,00
Willems et al. ⁹⁹	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	64,30	-----	-----

A relação dos contrastes obtidos do teste de Tukey para os percentuais de partículas por massa e por volume dos materiais estudados pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Médias de percentual de partículas de carga por massa e por volume, acompanhadas dos respectivos contrastes.

Material	Porcentual por massa		Porcentual por volume	
Al	79,460	A	67,260	a
Z	79,612	A	65,270	a
P	77,522	B	62,344	b
Ar	75,188	C	61,078	b
T	74,652	D	57,228	c
D	72,666	E	54,426	d
S	63,202	F	47,760	e

De acordo com os dados de percentual volumétrico obtidos, se aceitarmos a classificação proposta por Willems et al.¹⁰⁰, podemos admitir que as resinas Al, Z, P e Ar são adensadas de carregamento compactado (alta densidade), uma vez que apresentam percentual acima de 60%, e que as demais são de média densidade. De acordo com os autores, que definiram o percentual volumétrico de partículas através de um cálculo teórico com base no módulo de elasticidade, o limite de 60% foi determinado como sendo o mínimo para a indicação para dentes posteriores, pois, com essa concentração, o módulo de elasticidade corresponderá ao da dentina, que é de 18.500 MPa.

É possível verificarmos que houve correspondência na classificação dos materiais na seqüência decrescente de percentual de carga por massa ou volume. Apenas foi verificado que as resinas Filtek P-60 e Ariston pHc situaram-

se no mesmo grupo quando se considerou a concentração de partículas em volume e em grupos distintos quando foi analisado o percentual por massa. Estas observações indicam que a caracterização de um material por seu conteúdo de partículas inorgânicas por massa traz informações que, se não são totalmente precisas, podem ajudar a prever o desempenho clínico do material. Resultado semelhante foi obtido por Ferracane et al.³⁶, que afirmaram haver correlação positiva entre conteúdo de carga por massa e volume.

6.2 – Contração de Polimerização

A contração de polimerização tem sido um dos maiores problemas das resinas compostas, cujo desenvolvimento teve como um dos principais objetivos reduzir a contração de polimerização das resinas acrílicas pela incorporação de partículas inorgânicas na matriz resinosa.

De fato, um substancial progresso foi alcançado com a introdução das resinas compostas, baseadas no desenvolvimento do Bis-GMA e outros monômeros, bem como de agentes de união carga/matriz e de diversas formulações de materiais com os mais variados tipos, tamanhos, formas, distribuição e concentração de partículas de carga. No

entanto, até hoje, uma pequena, porém significativa, contração de polimerização permanece nos atuais materiais, e a consequência clínica se manifesta na forma de sensibilidade pós-operatória, manchamento marginal e cárie secundária.

A reação de polimerização da fase resinosa ocorre pela conversão de moléculas do monômero em uma cadeia polimérica, acompanhada de uma redução de volume. Segundo Thompson et al.,⁹⁵ a contração de polimerização por adição está relacionada ao fato de os monômeros estarem distantes uns dos outros à distância de Van der Waals. No polímero correspondente, as unidades de monômero ficarão separadas ao equivalente à distância da união covalente. Considerando que, em pequenos átomos, o raio covalente é de apenas 1/3 do raio de Van der Waals, conclui-se que a contração está relacionada ao número de unidades de monômero convertido em polímero por unidade de volume.

Inúmeros pesquisadores têm dedicado especial atenção ao tema empregando métodos de medida indireta da contração de polimerização, como Asmussen², que mediu a fenda em cavidades restauradas com resina composta; Bowen et al.,⁷ que mediram a desadaptação de um corpo de resina composta reinserido na matriz de origem; e Mehl et al.,⁶⁵ que efetuaram medidas das fendas marginais por meio de um

programa de computador acoplado ao microscópio eletrônico de varredura.

O método para medição direta da contração volumétrica mais aplicado emprega a dilatometria como descrito por De Gee & Davidson²⁴, que utilizaram dilatômetro de mercúrio, com temperatura constante. Rees et al.⁸¹ e Ferrero et al.³⁸ utilizaram picnômetro composto de um capilar graduado com divisões em milímetros adaptado ao reservatório de densidade dentro do qual o material era imerso em água.

A aplicação da gravimetria específica, menos comum, foi utilizada por Hay & Shortall⁴², o que permitiu obter a medida direta da densidade pela pesagem do corpo-de-prova imerso em água e ao ar utilizando microbalança. Os autores compararam este método com o da dilatometria, concluindo que os dois métodos apresentam resultados concordantes e que as diferenças observadas entre os métodos resultaram de variáveis, tais como a incorporação de bolhas de ar durante a manipulação.

Puckett & Smith⁷⁷ também empregaram o princípio da gravimetria específica, pelo qual era feita a pesagem do corpo-de-prova ao ar e imerso em água, antes e após a polimerização. O cálculo de alteração volumétrica era obtido com base na densidade antes e após a polimerização.

Outros autores mediram a contração de polimerização linear, como Hegdahl & Gjerdet⁴³ e Sakaguchi et al.,⁸⁶ que utilizaram sensores de deformação (*strain gauge*) para realizar o monitoramento da contração de polimerização, e Aw & Nicholls⁴, que mediram a contração linear por meio de microscópio óptico. Walls et al.⁹⁷ estudaram a contração de polimerização de resinas compostas fotoativadas por meio de um transdutor de mínima carga acoplado à superfície de uma lamínula de vidro adaptada sobre o material a ser polimerizado.

Davidson & Feilzer²³ afirmaram que, se a medida é feita por meio de transdutor de deslocamento, a contração deverá ser registrada somente após o ponto gel, que é definido como o momento no qual o material não pode mais prover escoamento viscoso da matriz. Portanto, o dispositivo de medida somente será ativado na fase pós-gel da contração, quando a estrutura do material é suficientemente sólida para exercer força no dispositivo e propiciar registro de dados.

Nossa proposta foi desenvolver um método que realizasse a medida direta da contração de polimerização em um único plano, portanto linear, e sob leve pressão, com o objetivo de medir as alterações dimensionais durante todo o processo e não somente no estado pós-gel.

Os resultados por nós obtidos apresentaram a seguinte ordem crescente de contração de polimerização:

$$Al < D = P, \quad P = Z < S = Ar = T.$$

A menor contração de polimerização foi registrada para o compósito Alert e pode ser creditada à sua elevada concentração de partículas inorgânicas, somente comparável à da resina composta Z-100 e superior à das demais.

No estudo de Razak & Harrison⁸⁰, que avaliaram a precisão de restaurações indiretas com material experimental, em que foi variada a concentração de partículas de carga (50%, 65% e 79% em massa), observou-se correlação positiva entre conteúdo de partículas de carga e redução da contração de polimerização.

A fase inorgânica do material Alert é composta por vidro de borosilicato de bário, sílica, dióxido de silício, óxido de magnésio, óxido de alumínio e óxido de ferro. Talvez, a forma das partículas de carga, com a inclusão de microfilamentos de vidro, como pode ser visto na Figura 7, possa de alguma maneira, também, limitar a contração de polimerização.

A explicação desse resultado também pode ser atribuída à alta viscosidade apresentada pelo material para que possua consistência semelhante a do amálgama, o que, por sinal, é o acrônimo ALERT (Amalgam Like Esthetic

Restorative Treatment). Essa característica pode ser resultado da formulação da matriz orgânica do material que, segundo o fabricante, é composta por Policarconatodimetacrilato, dimetacrilatoDifenolA etoxilato, 2,2'(2,5Tiofendil)BIS(5-Terc-Butil-Benzoxazol), 2(2Hidroxi-5-Terc-butilfenil),benzotriazol, Canforoquinona e Dietil Amino Etil Metacrilato.

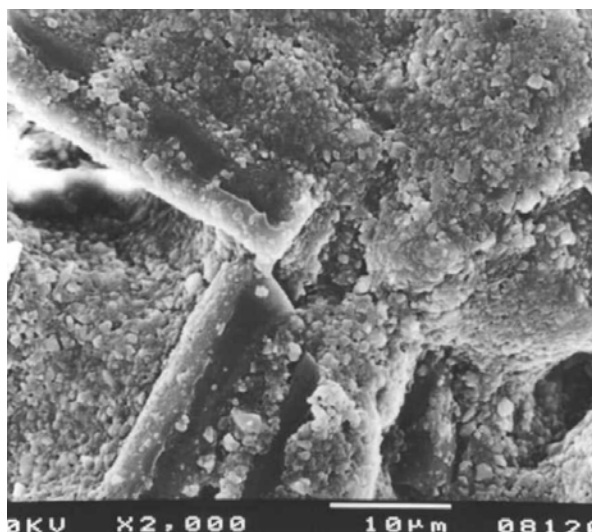


FIGURA 7- Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura da resina composta Alert (2.000X)

Diversos autores alertam para o fato de que a inclusão de maior conteúdo de carga necessariamente aumenta a viscosidade do material. Portanto, para que seja obtida uma alta concentração de partículas, muitos fabricantes incorporam monômeros diluentes para prover ao material maior facilidade de manipulação. A contração de polimerização é, então, potencializada pelo aumento da

quantidade de diluentes, tais como o TEGDMA. Como provavelmente o objetivo do fabricante foi, de fato, desenvolver um material bastante viscoso, com consistência que, ao ser introduzido e condensado na cavidade, assemelhasse-se à do amálgama ao ser inserido, supõe-se que tenha restringido o uso de monômeros diluentes ao mínimo possível.

A resina composta Definite apresenta a segunda menor contração de polimerização. A análise do gráfico apresentado (Figura 8) mostra que o material Definite, com conteúdo volumétrico de carga considerado de média densidade, mostrou contração de polimerização estatisticamente abaixo apenas do compósito Alert e igual à do Filtek P- 60, superando os materiais Z-100, Ariston pHc e Tetric Ceram, com maior concentração de partículas, e Solitaire, com menor percentual.

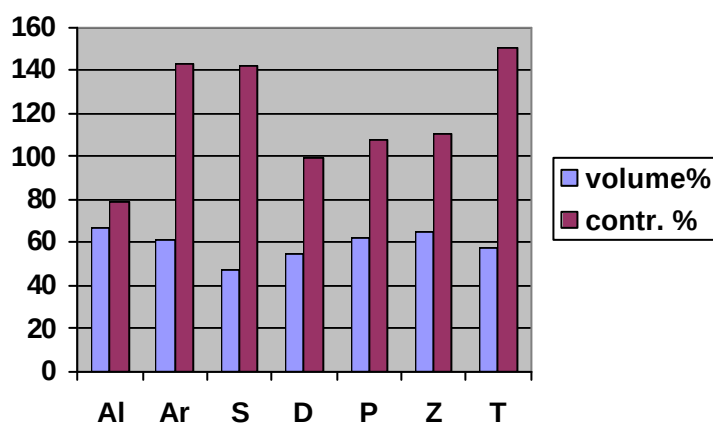


FIGURA 8 – Valores médios de percentual de conteúdo de carga por volume e contração de polimerização (porcentual x 10^2).

Esse resultado possivelmente está relacionado com a composição do material, que segundo o fabricante (Degussa-Hüls), é baseada em uma cerâmica organicamente modificada (ormocer), que consiste de polisiloxanos cerâmicos (cadeia de silicone-oxigênio) e de partículas pré-polimerizadas.

Como as partículas pré-polimerizadas, durante a polimerização do material, atuam como material inerte, como se fosse um material inorgânico, a contração ocorrerá em função apenas dos monômeros não reagidos.

De acordo com Walls⁹⁷, o método de determinação de conteúdo de partículas de carga por eliminação da fase orgânica a altas temperaturas é impreciso para produtos que têm partículas de resina pré-polimerizada, como no caso das resinas de micropartículas. Estes complexos desintegram-se durante o aquecimento em forno, restando apenas as partículas de sílica coloidal, vindo a mascarar a real estrutura do material.

A análise em microscopia eletrônica de varredura (Fig. 9) evidenciou a presença de partículas de forma e tamanho homogêneos; entretanto, caso existam partículas orgânicas pré-polimerizadas não é possível visualizá-las em função do método utilizado para separar as partículas inorgânicas pela diluição da matriz resinosa com acetona.

Porém, como a presença desse tipo de carga é informado pelo fabricante, é provável que esse fator seja o principal responsável pela baixa contração de polimerização do material Definite.

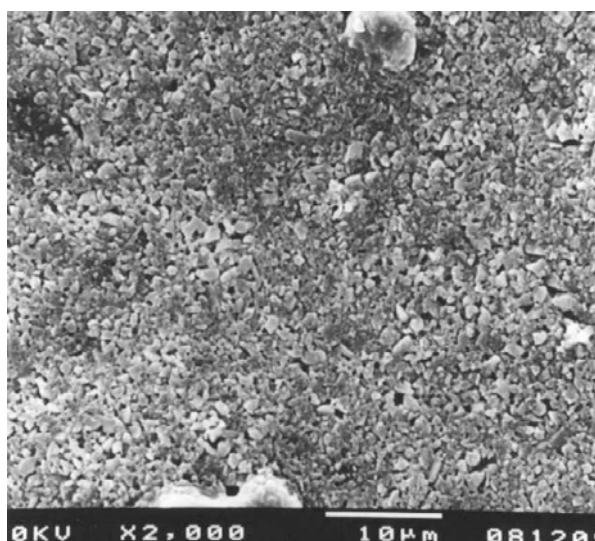


FIGURA 9– Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura das partículas de carga da resina Definite (2000X)

Em seguida, com comportamento estatisticamente igual ao do material Definite, apresentou-se a resina composta Filtek P-60 que, por sua vez, foi semelhante ao compósito Z-100.

O desempenho positivo do compósito Filtek P60 pode ser atribuído à composição da matriz resinosa, na qual foi feita a substituição de parte do TEGDMA por uma mistura de UDMA (uretano dimetacrilato) e Bis-MA (bisfenol A-

polietileno glicol dieter dimetacrilato), ambos de alto peso molecular, o que veio a reduzir o número de duplas ligações, aumentando a viscosidade e diminuindo a contração de polimerização. Como esse material é exclusivamente indicado para dentes posteriores, a alta viscosidade passa a ser uma vantagem, pois facilita a inserção e obtenção de relação de contato proximal.

A semelhança entre os compósitos Filtek P60 e Z-100, apesar da diferença de fração volumétrica de partículas de carga (62,34% e 65,27%, respectivamente), talvez possa ser justificada pela composição da fase inorgânica, uma vez que, segundo a empresa 3M, que produz ambas as resinas compostas, o tipo de carga inorgânica da resina composta Filtek P60 permanece essencialmente igual ao do compósito Z-100, com tamanho médio de 0,6 μm e distribuição de 0,01 μm a 3,5 μm , porém com maior concentração de partículas pequenas, como mostram as Figuras 10 e 11, que apresentam as fotomicrografias em microscopia eletrônica de varredura das partículas das resinas compostas Filtek P60 e Z-100, respectivamente.

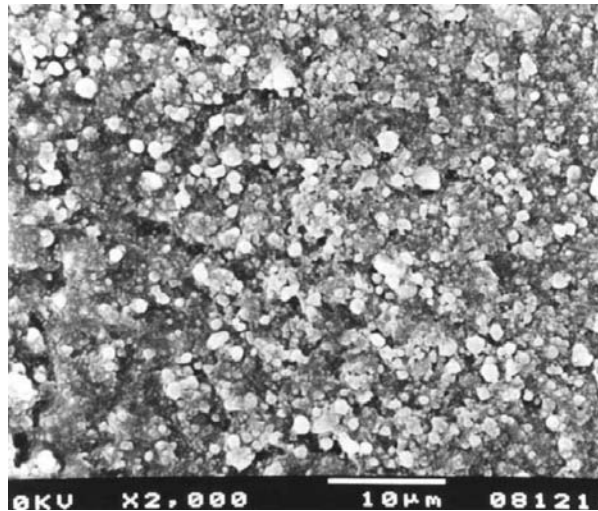


FIGURA 10 - Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura das partículas inorgânicas (2.000 X) da resina composta Filtek P60

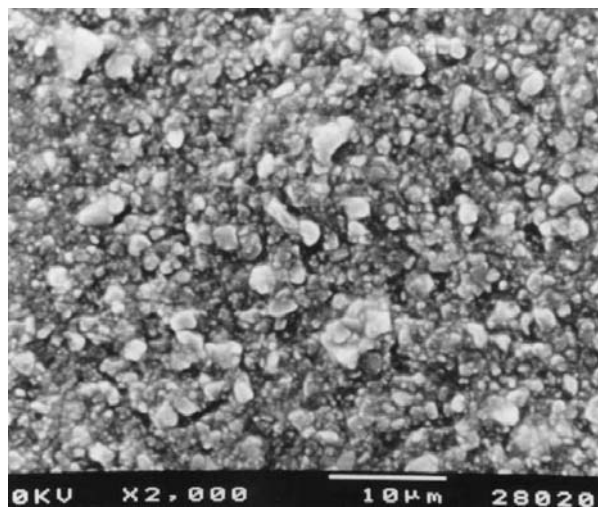


FIGURA 11 - Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura das partículas inorgânicas (2.000 X) da resina composta Z-100

Segundo seu fabricante, o material Z-100 é composto basicamente por Bis-GMA e TEGDMA (de baixo peso molecular), e a presença deste monômero permite aumentar o número de duplas ligações, reduzir a viscosidade

proporcionando maior incorporação de carga e gerar alto grau de ligações cruzadas. Porém, a alta concentração de TEGDMA aumenta a rigidez do material, contribui para a redução da vida útil do compósito não polimerizado, apresenta natureza hidrófila e aumenta a contração de polimerização.

A composição da fase orgânica da resina composta Z-100, em tese, propiciaria uma contração de polimerização mais acentuada que a registrada devido à presença de TEGDMA. Os baixos valores de contração desse compósito, podem ser decorrentes da sua rápida polimerização, devido à sua alta sensibilidade à luz, em consequência de uma possível maior concentração de catalisadores, além da elevada concentração de partículas de carga.

Segundo Asmussen², a concentração de iniciadores pode interferir na contração dos materiais, pois há uma relação direta entre o tempo de polimerização e o de contração.

No último grupo, com contração de polimerização estatisticamente igual, estão as resinas compostas Solitaire, Ariston pHc e Tetric Ceram.

Seria natural que o material Solitaire, com menor concentração de partículas por volume (47,76%), apresentasse maior contração de polimerização que os compósitos Ariston pHc (61,07%) e Tetric Ceram (57,22%).

Entretanto, deve-se considerar que esse material possui uma matriz à base de ácido do éster (met-)acrílico multifuncional, denominada *Poliglass* pelo fabricante, segundo o qual resulta em alta resistência ao desgaste e baixa contração de polimerização.

De acordo com Nagen Filho⁶⁹, ao contrário da formulação convencional à base de Bis-GMA e TEGDMA (moléculas bifuncionais), o compósito Solitaire apresenta um monômero com moléculas de acrilato tetrafuncional, que é um silicato modificado organicamente. Este silicato é, segundo o autor, alcóxido de silício tetrafuncional, que contém um elemento inorgânico conectado ao grupo reativo alcóxido, permitindo o dobro de conversão de união.

Outro fator a ser destacado refere-se à composição das partículas de carga que, apesar de apresentarem-se em baixa concentração por volume, segundo o fabricante, apresentam-se porosas para adequar a viscosidade aos procedimentos de condensação, o que talvez possa restringir a contração de polimerização. De acordo com a publicação *The Dental Advisor*⁸², esse compósito apresenta partículas com tamanhos que variam de 2 μm a 20 μm . A fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura apresentada na Figura 12, demonstra a variedade no tamanho das partículas, que tendem ao formato esférico.

Os nossos resultados não são confirmados por Ferrero et al.³⁸, que não observaram diferenças significativas na contração de polimerização volumétrica entre os materiais Z-100, Solitaire e Alert. Tal fato pode ser creditado às diferenças metodológicas, pois os autores mediram a contração volumétrica, irrestrita, por meio de picnômetro, enquanto o método por nós aplicado mediu as alterações lineares e com restrições de paredes do anel plástico e sob leve compressão.

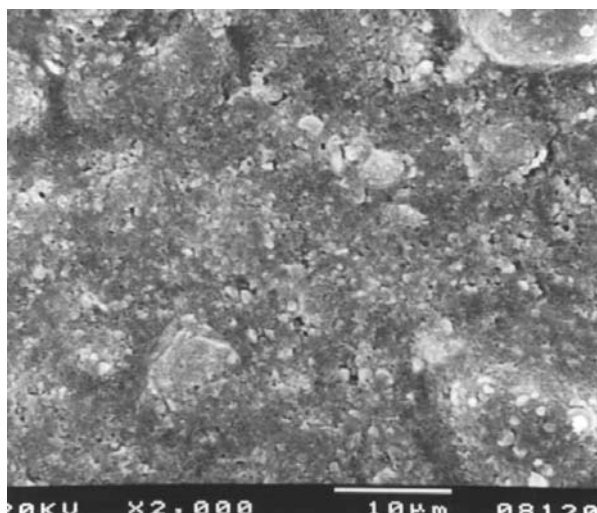


FIGURA 12 - Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura das partículas inorgânicas da resina composta Solitaire (2.000 X)

Podemos considerar que o conteúdo de partículas inorgânicas é um fator importante na intensidade da contração de polimerização, porém não um fator determinante, pois seria presumível que as resinas compostas Alert, Z-100, Filtek P-60 e Ariston pHc mostrassem comportamentos

semelhantes, uma vez que esses materiais são considerados de alta densidade, de acordo com a classificação proposta por Willems et al.¹⁰⁰. O mesmo raciocínio poderia ser válido para a análise da contração da resina composta Tetric Ceram, que apresentou 57,22% de concentração de partículas por volume, valor aproximado do limite de 60%, necessário para que fosse considerada de alta densidade.

Segundo Asmussen², que estudou a contração de polimerização sob a influência da concentração de monômeros diluentes, do conteúdo de partículas de carga e dos catalisadores em marcas comerciais e materiais experimentais, o único fator a não alterar significativamente a contração foi a concentração de partículas de carga. O autor acredita que a composição da fase orgânica é determinante da contração de polimerização, que é fortemente afetada pela quantidade de monômeros diluentes, seja TEGDMA ou EDMA, de modo que, quanto mais baixa a viscosidade, maior a contração do material.

Goldman⁴¹, em seu estudo, observou que alguns materiais, apesar da elevada concentração de partículas de carga em volume, apresentaram acentuados valores de contração de polimerização. Apesar de não conhecer a composição desses materiais, o autor supôs que este resultado deveu-se à presença de monômeros de baixo peso

molecular, como EDMA e TEGDMA. Materiais contendo alta proporção de monômeros de baixo peso molecular apresentarão maior grau de conversão de grupos metacrilatos insaturados, vindo a constituir grandes dimetacrilatos aromáticos, aumentando a contração de polimerização.

Davidson²² afirmou que parte da contração de polimerização está relacionada com a consistência requerida pelo clínico. O aumento na quantidade de carga reduz a contração, porém, para permitir maior incorporação de partículas mantendo uma viscosidade adequada, é necessário incorporar mais monômero diluente (TEGDMA), o que aumenta a contração de polimerização.

Feilzer et al.³³, estudando a contração de polimerização volumétrica de 26 resinas compostas e 2 cimentos de ionômero de vidro, concluíram que não é possível relacionar os valores experimentais de contração de presa em função da classificação dos materiais, posto que a contração depende da formulação dos monômeros, sistemas de iniciadores e da concentração, do tipo, tamanho e da cobertura da partícula de carga, o que torna a análise complexa.

Os resultados encontrados para o material Ariston pHc podem ser justificados pela composição. As partículas de carga apresentam tamanho médio de 1,3 μm e são compostas

de vidro alcalino (desenvolvido e patenteado pela Vivadent), vidro de bário-alumínio-fluor-silicato, trifluoreto de itérbio e dióxido de silício (Fig. 13). De acordo com o fabricante, o material libera íons fluoreto, cálcio e hidroxila, com o objetivo de equilibrar o pH. Por isso, esse compósito é denominado pelo fabricante como *material restaurador inteligente* e sua fase orgânica é composta por uma mistura de diferentes tipos de metacrilato (não especificados). É provável que entre estes monômeros estejam alguns de baixo peso molecular, para facilitar a sorção de água e permitir a liberação de íons pelas partículas de carga o que possibilita equilibrar o pH. Esses monômeros, em geral, de baixa viscosidade sofrem maior contração de polimerização.

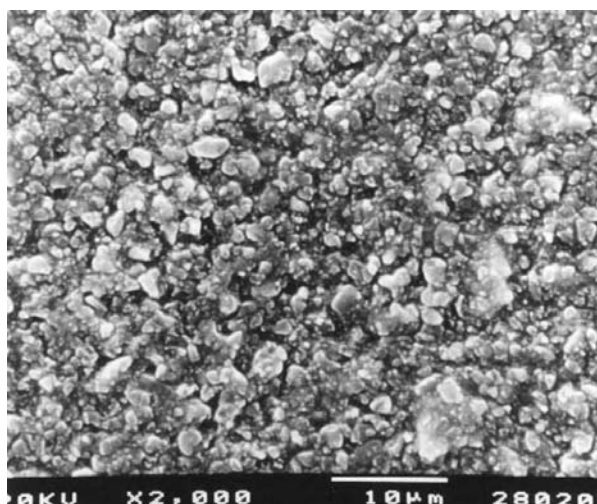


FIGURA 13 - Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura do material Ariston pHc (2.000 X)

A resina composta Tetric Ceram apresentou os maiores valores nominais de contração de polimerização, situando-se no limite da significância, com os compósitos Solitaire e Ariston pHc.

Segundo o fabricante (Vivadent), a matriz resinosa é composta por Bis-GMA, UEDMA e TEDGMA e as partículas inorgânicas contém vidro de bário, trifluoreto de itérbio, vidro de bário-alumínio-fluor-silicato e dióxido de silício, com tamanhos que variam de 0,04 μm a 3,0 μm , e média de 0,7 μm .

É possível que a contração de polimerização mais acentuada deva-se à forma irregular das partículas (Fig. 14), o que diminui a interação entre elas, e principalmente à influência da composição da matriz orgânica, com maior quantidade de monômero diluente (TEGDMA), cujos efeitos já foram comentados anteriormente.

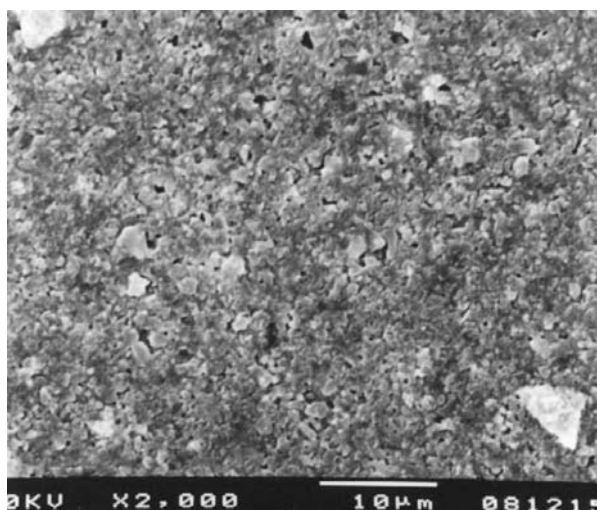


FIGURA 14 - Fotomicrografia em microscopia eletrônica de varredura da resina composta Tetric Ceram (2.000 X)

Os resultados de contração de polimerização por nós obtidos para alguns materiais encontram alguma semelhança com os dados publicados pela revista *The Dental Advisor*⁸² que, comparando resinas compostas para dentes posteriores, atribuíram os seguintes valores de contração de polimerização linear para os compósitos: Alert (0,8%), Z-100 (1,0%), Solitaire (1,2%) e Tetric Ceram (1,4%).

Várias propostas para solucionar o problema da contração de polimerização têm sido apresentadas por diversos pesquisadores. Thompson et al.⁹⁵, em 1979, estudaram a aplicação de espiro-ortocarbonatos, monômeros que se expandem durante a polimerização e co-polimerizam com o Bis-GMA. Leinfelder⁵⁷ acredita que novos materiais de matriz polimérica inorgânica rígida (PRIMM) podem ser uma solução no controle da contração de polimerização e na melhoria das propriedades mecânicas. Davidson & Feilzer²³ acreditam que, até serem desenvolvidas resinas sem contração ou com expansão e partículas de carga com capacidade de expansão, o clínico deverá conviver com o problema da contração de polimerização.

6.3 – Resistência à Flexão

No ensaio de resistência à flexão, os materiais apresentaram a seguinte ordem decrescente de médias (MPa):

$$P > Z > T = Al > Ar = D > S.$$

O resultado positivo do compósito Filtek P60 pode ser atribuído a diferentes fatores, como composição da matriz orgânica e morfologia, distribuição, composição e concentração de partículas de carga.

Como a resina composta Z-100 apresenta basicamente o mesmo tamanho e as mesmas distribuição e forma de partículas de carga, podemos admitir que a composição da matriz deva ser um importante fator no incremento da resistência do material Filtek P60.

A fase orgânica desse material é composta por Bis-GMA, com a substituição de parte do monômero diluente TEDGMA por UEDMA e Bis-MA. Asmussen e Peutzfeldt³, analisando a influência dos monômeros UEDMA, Bis-GMA e TEDGMA em algumas propriedades mecânicas, observaram que a substituição de Bis-GMA ou TEDGMA pelo UEDMA resultou em aumento da resistência à tração diametral e à flexão. Afirmaram que essa substituição aumenta o grau de conversão da matriz polimérica e que, a melhoria, quando é feita a substituição do TEDGMA por UEDMA, possivelmente esteja associada ao fato de o grupo uretano formar pontes de hidrogênio no co-polímero, o que presumivelmente resulta na restrição de deslizamento de um segmento de polímero em relação ao outro. Já quando é considerado o aumento da

concentração de TEGDMA, a resistência à flexão diminui, o que mostra que o grau de conversão não está, necessariamente, correlacionado com todas as propriedades mecânicas. Os autores observaram um moderado aumento no módulo de elasticidade quando ocorre essa substituição. O módulo de elasticidade é uma propriedade que deve ser analisada com muito critério, pois um material com elevado módulo de elasticidade não apresentará, necessariamente, a melhor combinação de propriedades mecânicas positivas. Observaram ainda que, para as diferentes combinações de Bis-GMA/TEGDMA, há tendência de redução do módulo de elasticidade à medida que aumenta o conteúdo de UEDMA. Por exemplo, o material formulado com 70% de UEDMA, 30% de TEGDMA e sem Bis-GMA exibiu ótimas resistência à tração diametral e à flexão, mesmo apresentando um módulo de elasticidade relativamente baixo (8 GPa), ao contrário da fórmula que continha 50% de TEGDMA e 50% de Bis-GMA, com módulo de elasticidade de 10,5 GPa e valores de resistência menores.

Outro fator relevante é a concentração de partículas de carga por volume. A análise do gráfico a seguir (Fig.15) evidencia que não houve relação direta entre conteúdo de partículas de carga e resistência à flexão, pois a maior média de resistência foi obtida para o compósito Filtek

P60, que situou-se no grupo B quando foi considerado o conteúdo de partículas, enquanto as resinas compostas Z-100 e Alert, que têm maior concentração de partículas, exibiram menor resistência.

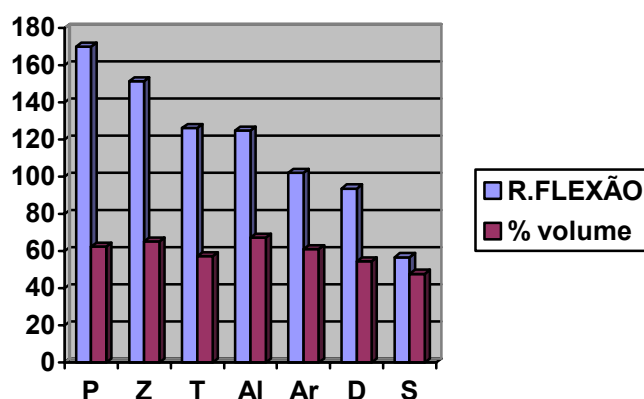


FIGURA 15 – Resistência à Flexão e Porcentual de partículas de carga por volume

Segundo Braem et al.⁹, há uma relação diretamente proporcional entre conteúdo de partículas de carga, em volume, e módulo de elasticidade, ou seja, as resinas compostas Z-100 e Alert devem possuir maior módulo de elasticidade devido à maior concentração de partículas, o que favorece, também, a fratura no ensaio de flexão. A correlação positiva entre módulo de elasticidade e fração volumétrica de partículas de carga também foi demonstrada por Söderholm⁹⁰. Essas opiniões também são confirmadas por

O'Brien⁷⁰, que afirma existir relação direta entre conteúdo de carga inorgânica por volume e módulo de elasticidade.

De acordo com Willems et al.¹⁰⁰, as resinas compostas indicadas para dentes posteriores devem apresentar porcentual de partículas por volume de, no mínimo 60%, pois, desta forma, o módulo de elasticidade corresponderá ao da dentina, devendo preferencialmente ser superior, para aumentar a resistência. Porém, os materiais com módulo de elasticidade mais elevado podem sofrer fratura frágil sob determinados tipos de tensão, como tração ou cisalhamento. Como no ensaio de flexão estas tensões estão presentes, podemos supor que esses materiais mais carregados podem fraturar com valores médios de tensão abaixo dos valores daqueles menos carregados, dentro de certos limites.

Htang et al.⁴⁶, em estudo que relacionou o conteúdo de partículas de carga com a resistência à fadiga por impacto, observaram que as resinas com concentração de partículas abaixo de 40% ou acima de 80% em massa, apresentaram as menores médias de resistência à fadiga. O resultado foi também explicado pelo aumento do módulo de elasticidade proporcionado pela excessiva quantidade de partículas de carga. Como consequência, o módulo de resiliência diminui e aumenta a fragilidade do material. Os

autores acreditam que, para obter materiais mais adequados, é necessário ajustar o tamanho e a fração de partículas de carga, as quais devem ser compostas por materiais menos frágeis, e melhorar a tenacidade da matriz resinosa, assim como sua adesão à fase inorgânica.

Por outro lado, Miyazaki et al.⁶⁶ obtiveram valores maiores de módulo de elasticidade e resistência à flexão para a resina composta Clearfil AP-X, que apresenta partículas com fração de 70% em volume e 85,55% em massa em comparação com os materiais Herculite (59,0% em volume e 78,55% em massa), Z-100 (66,0% em volume e 84,5% em massa) e Palfique Estelite (53,0% e 67,0% em volume e massa, respectivamente).

Entretanto, pequenas variações na concentração podem não ser, na prática, significativas. Zhao et al.¹⁰⁴ estudaram a resistência à fratura e à flexão em compósitos experimentais com variação na concentração de partículas de vidro de estrôncio (75% ou 79% em peso), bem como o efeito da combinação dessas partículas com 10% de sílica coloidal. Concluíram que as resinas compostas formuladas apresentaram módulos de flexão estatisticamente iguais.

Como afirmado anteriormente, a fase orgânica do compósito Z-100 é composta basicamente por Bis-GMA e TEGDMA, o que pode gerar maior rigidez e, supõe-se,

favorecer a fratura do material devido ao aumento do módulo de elasticidade.

Apesar disso, a resina composta Z-100 apresentou a segunda maior média de resistência à flexão, e seu resultado positivo juntamente com o do compósito Filtek P60 também podem encontrar respaldo no tipo de partícula de carga de ambos os materiais (Figuras 10 e 11), a qual é um composto mineral sintético de zircônio/sílica, com tamanhos que variam de 0,01 μm a 3,5 μm , com média de 0,6 μm , e com formato esferoidal, com distribuição contínua por tamanho.

Kaufman⁵⁰ afirmou que a tecnologia de produção das partículas de zircônio/sílica traz uma série de vantagens. A microestrutura da partícula tende a absorver energia e dificultar a propagação de fratura, assim como suas características químicas permitem eficiente acoplamento do sistema de cobertura (silano) melhorando a união matriz/carga. A larga e homogênea distribuição por tamanho permite maior incorporação de carga. Ao contrário, materiais com distribuição bimodal, que combinam partículas de vidro de bário e sílica amorfa, extremamente fina, tendem a ser pegajosos e difíceis de manipular devido aos grandes vazios entre as partículas. Além disso, a forma esférica das partículas, por sua característica lubrificante, permite que sejam formulados materiais com elevada concentração de

carga inorgânica sem o sacrifício da facilidade de manipulação.

Da mesma maneira, segundo Crispin¹⁹, a distribuição de tamanho de partícula contínuo melhora o empacotamento, aumentando o número de partículas por unidade de volume, o que faz com que esses materiais mostrem melhores propriedades mecânicas que os outros tipos, em testes preliminares, *in vitro*.

Suzuki et al.⁹³ concluíram que o tamanho e a forma das partículas são importantes fatores nas propriedades mecânicas e resistência ao desgaste dos materiais, sendo a distribuição de tensão, nas resinas com partículas esféricas, mais uniforme devido à lisura superficial proporcionada por sua geometria.

A superioridade da resina composta Z-100 sobre o compósito Alert, com porcentuais volumétricos de partículas de carga semelhantes, também pode ser explicada pelo tipo de partículas de carga do material Alert (Fig. 7), que, segundo Freedman⁴⁰, apresenta microfilamentos de vidro, que têm comprimento de 40 μm a 60 μm e diâmetro de 6 μm a 10 μm , combinados com partículas de alumínio silicato de bário e sílica coloidal. Podemos supor que esse tipo de carga inorgânica pode aumentar o módulo de elasticidade e

enrijecer ainda mais a estrutura, tornando o material mais frágil.

Deve ser destacado, ainda, que a resina composta Tetric Ceram apresentou resistência à flexão estatisticamente igual à da Alert, apesar da grande diferença de concentração de partículas (57,22% e 67,26 em volume, respectivamente).

Kelsey et al.⁵¹, estudando resistência à fratura, resistência à tração diametral, resistência à flexão e módulo de flexão de cinco materiais (Alert, Surefil, Prodigy, Z-100 e Solitaire), observaram que a resina composta Alert apresentou a maior resistência à fratura e o mais elevado módulo de flexão. Entretanto, no ensaio de resistência à flexão superou apenas o material Solitaire. No teste de resistência à tração diametral, todos os materiais apresentaram comportamentos semelhantes.

Confirmando a influência negativa do elevado módulo de elasticidade, Ruddell et al.⁸⁵, comparando diversas propriedades mecânicas, observaram que a resina composta Herculite apresentou resistência à flexão superior à dos materiais Alert, Kerr condensável experimental, Surefil e Solitaire e que as maiores médias de módulo de flexão foram registradas para os compósitos Alert e Surefil.

Também nos estudos de MacGregor et al.⁶², uma resina composta híbrida (TPH) apresentou resistência à flexão

superior às das resinas Alert e Surefil, as quais, por sua vez, foram superiores às da Solitaire e Heliomolar.

O resultado relativamente positivo para o compósito Tetric Ceram, apesar de apresentar concentração volumétrica de partículas abaixo de 60%, talvez possa ser justificado pela composição de sua matriz orgânica que, de acordo com o fabricante, é composta por Bis-GMA, UEDMA e TEGDMA. A presença de monômeros uretânicos pode interferir na resistência, como afirmaram Asmussen e Peutzfeldt³ e discutido anteriormente. Esta pode, também, ser a justificativa para o melhor desempenho da resina composta Tetric Ceram quanto à resistência à flexão quando a comparamos com a Ariston pHc, apesar de apresentarem percentuais de partículas inorgânicas por volume relativamente próximos (57,22% e 61,07%, respectivamente). Outra possível explicação pode encontrar respaldo na composição da fase inorgânica. Na resina composta Ariston pHc, existem partículas de vidro alcalino, responsáveis pela liberação de substâncias ativas, dependendo do pH bucal. Pode-se imaginar que, para haver liberação de qualquer substância, essas partículas provavelmente são desprovidas de silanização, o que pode, talvez, influenciar negativamente na resistência. Além disso, as partículas apresentam tamanho e distribuição distintas (Figuras 13 e 14), tendo a resina

composta Tetric Ceram partículas com média de $0,7 \mu\text{m}$ e a Ariston pHc de $1,3 \mu\text{m}$.

De acordo com Kalliyana Krishnan & Yamuna⁴⁹, o tamanho das partículas de carga pode interferir nas propriedades mecânicas dos compósitos. Seus resultados mostraram que os materiais formulados com partículas de vidro radiopaco com tamanhos médios de $0,7 \mu\text{m}$ e $1,0 \mu\text{m}$ apresentaram resistências à compressão e à tração diametral superiores às do material composto de partículas com tamanho médio de $1,4 \mu\text{m}$.

Nossos resultados não são confirmados pelos obtidos por Lohbauer et al.⁶⁰, que registraram valores muito próximos de resistência à flexão no teste de três pontos para os compósitos Tetric Ceram (107 MPa) e Ariston pHc (106 MPa).

Já para as resinas compostas Ariston pHc (102,00 MPa) e Definite (93,63 MPa), os dados por nós obtidos mostraram semelhança estatística entre elas, em concordância com os valores obtidos por esses mesmos autores⁶⁰, que foram de 106,0 MPa e 86,0 MPa, respectivamente. Cardoso et al.¹², por outro lado, obteve o valor médio de 105,90 MPa para o material Definite. Ressalta-se, porém que são escassas as informações sobre estes dois materiais por serem muito recentes.

Mais uma vez, a explicação para a semelhança entre as resistências dos compósitos Ariston pHc e Definite, apesar da diferença de concentração de partículas em volume (61,07% e 54,42%, respectivamente), pode estar relacionada à composição da matriz resinosa. De acordo com o fabricante do Definite, a fase resinosa é uma cerâmica organicamente modificada (ormocer). Segundo Nagem Filho⁶⁹, este tipo de matriz proporciona o dobro de conversão com melhoria nas propriedades físicas e mecânicas. Hickel et al.⁴⁴ afirmaram que o ormocer, já conhecido na literatura química há alguns anos, tem sua aplicação promissora em odontologia, de acordo com testes preliminares de laboratório.

A menor média de resistência à flexão para a resina composta Solitaire (56,71 MPa) pode ser justificada por diferentes abordagens. A matriz resinosa não é convencional, cujo comportamento ainda não é bem estabelecido. Também, foi evidenciado que esse material apresenta conteúdos de carga por massa ou por volume, significativamente inferiores aos dos demais. Além disso, segundo o fabricante, as partículas inorgânicas são porosas, para melhorar a característica de acomodação do material na cavidade. Entretanto, os estudos de Calais e Söderholm¹¹ mostraram que compósitos com partículas de sílica, vidro de bário ou sílica porosa apresentaram resistências iniciais similares, mas

que, após a armazenagem em água, as resinas compostas com partículas de sílica porosa sofreram maior redução na resistência à flexão.

Esse material, apesar de recente, foi estudado por vários pesquisadores, os quais tem relatado, também, resultados negativos quando compararam com outros materiais com as mesmas indicações.

Ruddell et al.⁸⁵, estudando diversas propriedades mecânicas de cinco materiais, colheram, para a resina composta Solitaire, os valores mais baixos de resistência à flexão (53 MPa), módulo de flexão, dureza, resistência à tração diametral, sendo positivo somente no ensaio de resistência à compressão.

Kelsey et al.⁵¹ obtiveram, também para o material Solitaire, as menores médias de resistência à flexão (53,6 MPa), módulo de flexão e resistência à fratura (K_{Ic}) em estudo que envolveu os compósitos Prodigy, Surefil, Z-100 e Alert. Porém, no ensaio de resistência à tração diametral, não houve diferença entre os materiais.

MacGregor et al.⁶² também obtiveram as mais baixas médias de resistência à flexão (73,1 MPa) e resistência à tração diametral para a resina composta Solitaire, mostrando novamente desempenho positivo quanto à resistência à

compressão, ficando abaixo do compósito Surefil, acima do Heliomolar e semelhante a TPH e Alert.

Lohbauer et al.⁶⁰, da mesma maneira, registraram os menores níveis de resistência à flexão para o material Solitaire em testes de três ou quatro pontos (65 MPa e 51 MPa, respectivamente) quando comparado a Surefil, Tetric Ceram, Ariston, Arabest, Pertac, Heliomolar e Definite.

Cardoso et al.¹² também verificaram que o compósito Solitaire apresentou a menor resistência à flexão (81,0 MPa) em estudo que avaliou também os materiais Filtek P60, Pyramid Esmalte, Alert, Filtek Z250, Surefil, Pyrammid Dentina, Prodigy Condensable, Alert (nova fórmula), Sculp-it, Z-100 e Definite.

Como pudemos verificar, o estudo de propriedades físicas, como contração de polimerização, ou mecânicas, como resistência à flexão, é bastante vasto e relacionado a diversas variáveis, sendo a composição da fase inorgânica um importante fator a ser considerado. Para a caracterização dos materiais segundo o papel das partículas de carga, métodos de determinação do conteúdo por massa e, principalmente, em volume são de grande utilidade, ao lado da análise em microscopia eletrônica. Porém, são considerados apenas parte dos dados dentro do imenso campo da composição dos materiais, onde a influência da combinação dos tradicionais

monômeros Bis-GMA, TEDGMA e UEDMA, assim como o desenvolvimento de novas formulações são também determinantes das propriedades dos compósitos e, em última análise, do comportamento clínico das restaurações.

7 – CONCLUSÃO

7.1 - Conteúdo de partículas inorgânicas por massa e volume

- Houve diferença estatisticamente significativa entre os materiais quanto ao conteúdo de partículas inorgânicas por massa e por volume.
- As resinas compostas Alert e Z-100 apresentaram os mais elevados valores médios de conteúdo de partículas inorgânicas por volume, seguidas pelas resinas compostas Filtek P60 e Ariston pHc, que foram superiores a Tetric Ceram, Definite e Solitaire.
- As resinas compostas Z-100 e Alert mostraram as maiores médias de conteúdo de partículas inorgânicas por massa, seguidas, seqüencialmente, pelos compósitos Filtek P60, Ariston pHc, Tetric Ceram, Definite e Solitaire.

7.2 - Contração de Polimerização

- Houve diferença estatisticamente significativa entre os materiais.
- O material que apresentou a menor média de contração de polimerização foi o compósito Alert, seguido das resinas compostas Definite e Filtek P60 que, por sua vez, mostrou contração similar à do compósito Z-100. Os maiores percentuais médios de contração de polimerização foram obtidos para as resinas compostas Ariston pHc, Solitaire e Tetric Ceram, com comportamentos similares entre si.

7.3 – Resistência à Flexão

- Os compósitos estudados apresentaram médias de resistência à flexão estatisticamente diferentes.
- A maior média de resistência à flexão foi obtida para a resina composta Filtek P60, seguida da Z-100. Imediatamente abaixo situaram-se os compósitos Tetric Ceram e Alert. Em seguida, apresentaram-se as resinas compostas Ariston pHc e Definite, com médias superiores à da Solitaire.

8 - REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANUSAVICE, K. J. (Ed.) *Phillips science of dental materials*. 10 ed. Philadelphia: Saunders, 1996. p. 273-300.
- 2 ASMUSSEN, E. Composite restorative resins. Composition versus wall-to-wall polymerization contraction. *Acta Odontol. Scand.*, v. 33, p. 337-44, 1975.
- 3 ASMUSSEN, E., PEUTZFELDT, A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent. Mater.*, v. 14, p. 51-6, 1998.
- 4 AW, T. C., NICHOLLS, J. I. Polymerization shrinkage of condensable composite resins. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 370, 1999. (Abstract 2118).
- 5 BAYNE, S. C. et al. A characterization of first-generation flowable composites. *J. Am. Dent. Assoc.*, v. 129, p. 567-77, 1998.
- 6 BONILLA, E. D., MARDIROSSIAN, G. H., CAPUTO, A. A. Fracture toughness of condensable posterior composite resins. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 156, 1999. (Abstract 408).

* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Coordenadoria Geral de Bibliotecas, Editora UNESP. *Normas para publicações da UNESP*. São Paulo: Editora UNESP, 1994. 4 v., v.2. Referências bibliográficas.

-
- 7 BOWEN, R. L., RAPSON, J. E., DICKSON, G. Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. *J. Dent. Res.*, v. 61, p. 654-8, 1982.
 - 8 BOWEN, R. L. et al. Theory of polymer composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985. p.95-105.
 - 9 BRAEM, M. et al. The impact of composite structure on its elastic response. *J.Dent.Res.*, v.65, p.648-53, 1986.
 - 10 BROSH, T. et al. The influence of surface loading and irradiation time during curing on mechanical properties of a composite. *J.Prosthet. Dent.*, v. 77, p. 573-7, 1997.
 - 11 CALAIS, J. G., SÖDERHOLM, K. -J. M. Influence of filler type and water exposure on flexural strength of experimental composite resins. *J. Dent. Res.*, v 67, p. 836-40, 1988.
 - 12 CARDOSO, P. E. C. et al. Análise da resistência à flexão de 8 resinas compostas condensáveis e 4 híbridas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1999. p. 80 (Abstract A 297).
 - 13 CARVALHO, C. M. E. S. et al. Graus de polimerização e dureza Knoop de resinas compostas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA
-

ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1999. p. 178 (Abstract B308).

- 14 CARVALHO, R. M. et al. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper. Dent.*, v. 21, p. 17-24, 1996.
- 15 CHEUNG, G. S. P. Reducing marginal leakage of posterior composite resin restorations: a review of clinical techniques. *J. Prosthet. Dent.*, v. 63, p. 286-8, 1990.
- 16 CHRISTENSEN, G. J. Amalgam vs. composite resin: 1998. *J. Am. Dent. Assoc.*, v. 129, p. 1757-59, 1998.
- 17 CHUNG, K. H., GREENER, E. H. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J. Oral Rehabil.*, v. 17, p. 487-94, 1990.
- 18 COLLINS, C. J, BRYANT, R. W., HODGE, K. -L. V. A clinical evaluation of posterior composite resin restorations: 8-year findings. *J. Dent.*, v. 26, p. 311-7, 1998.
- 19 CRISPIN, B. J. et al. – *Contemporatry esthetic dentistry: practice fundamentals*. Tokyo: Quintessence Publ., 1994. p. 60-71.
- 20 CROSS, M., DOUGLAS, W. H., FIELDS, R. P. The relationship between filler loading and particle size distribution in composite resin tecnology. *J. Dent. Res.*, v. 62, p. 850-2, 1983.

- 21 DANG, H. M., SARRET, D. C. Wear behavior of flowable and condensable composite resins. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 447, 1999.(Abstract 2736).
- 22 DAVIDSON, C. L. Confliting interests with posterior use of composite materials. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985. p. 61-5.
- 23 DAVIDSON, C.L., FEILZER, A. J. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J. Dent.*, v.25, 435-40,1997.
- 24 DE GEE, A. J., DAVIDSON, C. L. A modified dilatometer for continuous recording of volumetric polymerization shrinkage of composite restorative materials. *J. Dent.*, v. 9, p. 36-42, 1981.
- 25 DESEMPENHO clínico após 5 anos da resina Z100, da 3M. *The Dental Advisor*, v.5, n. 7, p. 2-5, 1998.
- 26 DRAUGHN, R. A. Compressive fatigue limits of composite restorative materials. *J. Dent. Res.*, v.58, p. 1093-6, 1979.
- 27 DRAUGHN, R. A. Fatigue and fracture mechanics of composite resins. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985. p. 299-307.

- 28 EICK, J. D. et al. Adhesives and non-shrinking dental resins of the future. *Quintessence Int.*, v.24, 632-40, 1993.
- 29 ELEY, B. M. The future of dental amalgam: a review of the literature. Part 7. possible alternative materials to amalgam for the restoration of posterior teeth. *Br. Dent. J.*, v. 183, p. 11-4, 1997.
- 30 EL-MOWAFY, O. M. et al. Meta-analysis on long-term clinical performance of posteior composite restorations. *J. Dent.*, v.22, 33-43, 1994.
- 31 FALER, T. A., MAZER, R. B. Margin adaptation of a condensable composite restorative. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 154, 1999. (Abstract 392).
- 32 FAN, P. L. Polymerization defects. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985.p. 287-96.
- 33 FEILZER, A. J., De GEE, A. J., DAVIDSON, C. L. Curing contraction on composite and glass-ionomer cements. *J.Prosthet. Dent.*, v.59, p. 297-300, 1988.
- 34 FENG, L. , SUH, B. I. Reduction of shrinkage stress by two-step curing. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 371 , 1999. (Abstract 2122).
- 35 FERDIANAKIS, K. Microleakage reduction from newer esthetic restorative materials in permanent molars. *J. Clin. Pediatr. Dent.*, v.22, p. 221-9, 1998.

- 36 FERRACANE, J. L., MATSUMOTO, H., OKABE, T. Time-dependent deformation of composite resins – compositional considerations. *J. Dent. Res.*, v.64, p. 1332-6, 1985.
- 37 FERRACANE, J.L. et al. Wear and marginal breakdown of composites with various degree of cure. *J. Dent. Res.* , v.76, p. 1508-16, 1997.
- 38 FERRERO, M. I. G., CASTRO FILHO, A. A., ARAUJO, M. A. J. Avaliação da contração de polimerização volumétrica de materiais resinosos In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais... Águas de São Pedro, 1999. p. 79 (Abstract A 295).
- 39 FRANCHI, M . et al. Cusp fracture resistance in composite-amalgam combined restorations. *J. Dent.*, v. 27, p. 47-52, 1999.
- 40 FREEDMAN, D. G. Resinas “condensáveis”: o novo paradigma dos alternativos do amálgama. *Brasil Dental News*, n. 14, p.6-8, 1999.
- 41 GOLDMAN, M. Polymerization shrinkage of resin-based restorative materials. *Aust. Dent. J.*, v.28, p.156-61, 1983.
- 42 HAY, J. N. , SHORTALL, A. C. Polymerization contraction and reaction kinetics of three chemically activated resins. *J. Dent.*, v. 16, p. 172-6, 1988.
- 43 HEGDAHL, T., GJERDET, N. R. Contraction stresses of composite resin filling materials. *Acta Odontol. Scand.*, v. 35, p. 191-5, 1977.

-
- 44 HICKEL, R. et al. New direct restorative materials. *Int. Dent. J.*, v. 48, p. 3-16, 1998.
- 45 HOSADA, H. YAMADA, T., INOKOSHI, S. SEM and elemental analysis of composite resins. *J. Prosthet. Dent.*, v. 64, p. 669-76, 1990.
- 46 HTANG, A., OHSAWA, M., MATSUMOTO, H. Fatigue resistance of composite restorations: effect of filler content. *Dent. Mater.*, v.11, p. 7-13, 1995.
- 47 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 4049: dentistry – resin-based filling materials*. Geneve, 1988. 11 p.
- 48 JENSEN, M . E., CHAN, D. C. N. Polymerization shrinkage and microleakage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985. p. 243-62.
- 49 KALLIYANA KRISHMAN, V., YAMUNA, V. Effect of initiator concentration, exposure time and particle size of filler upon the mechanical properties of a light-curing radiopaque dental composite. *J. Oral. Rehabil.* V. 25, n. 10, p. 747-51, 1998.
- 50 KAUFMAN, G. A new resin composite restorative incorporating synthetic filler technology nad optimized particle size distribution. *Esthetic Dentistry Update*, v. 5, p. 10-12, 1994.

- 51 KELSEY, W. P., LATTA, M. A., BARKMEIER, W. W. Physical properties of high density composite restorative materials. *J. Dent. Res.*, v.78, Sp. iss., p. 207, 1999. (Abstract 810).
- 52 KERBY, R., BERUN, J., KNOBLOCH, L. Fracture toughness of posterior condensable composite resins. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 157, 1999. (Abstract 415).
- 53 KIREMITÇI, A., BOLEY, S., GÜRGAN, S. Two-year performance of glass-ceramic insert-resin composite restorations: clinical and scanning electron microscopic evaluation. *Quintessence Int.*, v. 29, p. 417-21, 1998.
- 54 KNOBLOCH, L., KERBY, R., SEGHI, R. Wear resistance of posterior condensable composite resins. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 447, 1999. (Abstract 2735).
- 55 KOENIGSBERG, S. FUKS, A., GRAJOWER, R. The effect of three filling techniques on marginal leakage around Class II composite resin restorations in vitro. *Quintessence Int.*, v. 20, p.117-21, 1989.
- 56 KUNZELMANN, K. -H, MEHL, A., HICKEL, R. Sliding wear of an experimental ormocer and 15 commercial composites. *J. Dent. Res.*, v.77, sp. iss., p. 226, 1998. (Abstract 965).
- 57 LEINFELDER, K. F. New developments in resin restorative systems. *J Am. Dent. Assoc.*, v.128, p.573-81, 1997.

-
- 58 LETZEL, H. Survival rates and reasons for failure of posterior composite restorations in multicentre clinical trial. *J. Dent.*, v. 17, p. S10-S17, 1989.
- 59 LI, Y. et al. Effect of filler content and size on properties of composites. *J. Dent. Res.*, v. 64, p. 1396-401, 1985.
- 60 LOHBAUER, U. et al. Flexural strength characterization of resin composites by Weibull analysis. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 206, 1999. (Abstract 805).
- 61 LUTZ, F., KREJCI, I., OLDENBURG. T. R. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int.*, v. 17, p. 777-84, 1986.
- 62 MacGREGOR, K. M., COBB, D. S., VARGAS, M. A. Physical properties of condensable versus conventional composites. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 157, 1999. (Abstract 411).
- 63 McLEAN, J.W. The failed restoration: causes of failure and how to prevent them. *Int. Dent. J.*, v. 40, p. 354-8, 1990.
- 64 MAIR, L. H. Ten-year clinical assessment of three posterior resin composites and two amalgams. *Quintessence Int.*, v. 29, p. 483-90, 1998.
- 65 MEHL, A., HICKEL, R., KUNZELMANN, K.,-H. Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without "softstart-polymerization". *J. Dent.*, v. 25, p. 321-30, 1997.

-
- 66 MIYAZAKI, M. et al. Effect of light exposure on fracture toughness and flexural strength of light-cured composites. *Dent. Mater.*, v.12, p. 328-32, 1996.
- 67 MJÖR, I. A. The reasons for replacement and the age of failed restorations in general dental practice. *Acta Odontol. Scand.*, v. 55, p. 58-63, 1997.
- 68 MJÖR, I. A., JOKSTAD, A., QVIST, V. Longevity of posterior restorations. *Int. Dent. J.*, v. 40, p. 11-7, 1990.
- 69 NAGEN FILHO, H. *Materiais dentários. Resinas compostas*. Baurú: Produção Artes Gráficas, 1999. 84 p.
- 70 O'BRIEN, W. J. (Ed.) *Dental materials and their selection*. 2.ed. Chicago: Quintessence Publ., 1997. p. 97-113.
- 71 ÖLMEZ, A., ÖZTAS, N., BILICI, S. Microleakage of resin composite restorations with glass-ceramic inserts. *Quintessence Int.*, v. 29, p.725-9, 1998.
- 72 OPDAM, N. J. M. et al. Marginal integrity and postoperative sensitivity in Class 2 resin composite restorations in vivo. *J. Dent.*, v. 26, p.555-62, 1998.
- 73 PERRY, R., KUGEL, G. One-year evaluation of a high-density posterior restorative. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 309, 1999. (Abstract 1630).
- 74 PEUTZFELDT, A., ASMUSSEN, E. Influence of ketones on selected mechanical properties of resin composites. *J. Dent. Res.*,v.71, p. 1847-50, 1992.

-
- 75 PEUTZFELDT, A., ASMUSSEN, E. Ketones in resin composites. Effect of ketone content and monomer composition on selected mechanical properties. *Acta Odontol. Scand.*, v.50, p.253-8, 1992.
- 76 PINHEIRO, R. F. et al. Resina posterior: influência da extensão da cavidade no comportamento clínico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais... Águas de São Pedro, 1999. p. 65. (Abstract A 237).
- 77 PUCKETT, A. D., SMITH, R. Method to measure the polymerization shrinkage of light-cured composites. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, p.56-8, 1992.
- 78 RASKIN, A. et al. Clinical evaluation of a posterior composite 10-year report. *J. Dent.*, v. 27, p. 13-9, 1999.
- 79 RASMUSSEN, C. G., KÖHLER, B., ÖDMAN, P. A 3-year clinical evaluation of two composite resins in class-II cavities. *Acta Odontol. Scand.*, v. 56, p. 70-5, 1998.
- 80 RAZAK, A. A. A., HARRISON, A. The effect of filler content and processing variables on dimensional accuracy of experimental composite inlay material. *J. Prosthet. Dent.*, v. 77, p. 353-8, 1997.
- 81 REES, J. S., JACOBSEN, P. H. The polymerization shrinkage of composite resins. *Dent. Mater.*, v. 5, p. 41-4, 1989.
- 82 RESINAS compostas condensáveis. *The Dental Advisor*, v.5, n. 8, p. 2-4, 1998.

-
- 83 ROULET, J. F. Marginal integrity: clinical significance. *J. Dent.*, v. 22, p. S9-S12, 1994.
- 84 ROULET, J. F. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J. Dent.*, v. 25, p. 469-73, 1997.
- 85 RUDDLELL, D. E. et al. Mechanical properties and wear behavior of condensable composites. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 156, 1999. (Abstract 407).
- 86 SAKAGUCHI, R. L. et al. Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J. Dent.*, v. 19, p. 312-6, 1991.
- 87 SAKAGUCHI, R. L. et al. Effects of polymerization contraction in composite restorations. *J. Dent.*, v. 20, p. 178-82, 1992.
- 88 SILVA NETO, D. R. et al. Estudo da dureza de resinas compostas para dentes posteriores. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1999. p.87. (Abstract A328).
- 89 SMITH, D.C. Posterior composite resin dental restorative materials: materials development. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985, Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985. p. 47-60.

- 90 SÖDERHOLM, K. -J, M. Filler systems and resin interface.
In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POSTERIOR
RESIN DENTAL RESTORATIVE MATERIALS, 1985,
Minnesota. *Proceedings...* Ed. by Guido Vanherle and
Dennis C. Smith. Neterlands: Peter Szulc Publ., 1985.
p. 139-59.
- 91 SÖDERHOLM, K. -J, M., MARIOTTI, A. Bis-gma-based
resins in dentistry: are they safe? *J. Am. Dent. Assoc.*,
v.130, p.201-9, 1999.
- 92 SUZUKI, S. *In vitro* wear of condensable resin composite
restoratives. *J. Dent. Res.*, v.78, sp. iss., p. 447, 1999.
(Abstract 2734).
- 93 SUZUKI, S. et al. Effect of particle variation on wear rates
of posterior composites. *Am. J. Dent.*, v. 8, p. 173-8,
1995.
- 94 TAYLOR, D.F. et al. Relationship between filler and
matrix resin characteristics and properties of uncured
composite pastes. *Biomaterials*, v. 19, p.197-204, 1998.
- 95 THOMPSON, V. P., WILLIAMS, E. F., BAILEY, W. J.
Dental resins with reduced shrinkage during hardening.
J. Dent. Res., v. 58, p. 1522-32, 1979.
- 96 VERSLUIS, A., TANTBIROJN, D., DOUGLAS, W. H. Do
dental composites always shrink toward the light? *J.*
Dent. Res., v. 77, p. 1435-45, 1998.
- 97 WALLS, A. W. G., McCABE, J. F., MURRAY, J. J. The
polymerization contraction of visble-light actived
composite resins. *J. Dent.*, v. 16, p. 177-81, 1988.

-
- 98 de WET, F. A. et al. The effect of placement technique on marginal adaptation of posterior resins. *J. Dent. Assoc. S. Afr.*, v. 46, p. 171-5, 1991.
- 99 WHITTERS, C. J. et al. Dental materials: 1997 literature review. *J. Dent.*, v. 27, p.401-35, 1999.
- 100 WILLEMS, G. et al. Composite resins in the 21st century. *Quintessence Int.*, v.24, p.641-58, 1993.
- 101 WILLEMS, G. et al. Three-year follow-up of five posterior composites: SEM study of differential wear. *J. Dent.*, v. 21, p. 79-86, 1993.
- 102 WILSON, E. G., MANDRADJIEFF, E. G., BRINDOCK, T. Controversies in posterior composite resin restorations. *Dent. Clin. North Am.*, v. 34, p. 27-44, 1990.
- 103 WILSON, N. H. F., DUNNE, S. M., GAINSFORD, I. D. Current materials and techniques for direct restorations in posterior teeth. Part 2: resin composite systems. *Int. Dent. J.*, v. 47, p. 185-93, 1997.
- 104 ZHAO, D., BOTSIS, J., DRUMMOND, J. L. Fracture studies of selected dental restorative composites. *Dent. Mater.*, v.13, p. 198-207, 1997.
- 105 ZITTO, L. M., ROMANI, I. G., PIRES, L. A. G. Avaliação "in vitro" da micro-infiltração das resinas compostas condensáveis. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 16, 1999, Águas de São Pedro. Anais... Águas de São Pedro, 1999. P. 168. (Abstract B 266).

9. Apêndice

Tabela 15 – Dados originais utilizados para o cálculo da contração de polimerização

	Réplica	Contração (µm)	Medida final	Medida total	Contração (%)
Alert	1	23	3020	3039	0.76
	2	24	3194	3218	0.74
	3	23	2911	2934	0.78
	4	21	3015	3033	0.70
	5	29	2912	2941	0.98
	6	26	3097	3123	0.83
	7	26	3134	3160	0.82
	8	23	3037	3060	0.75
	9	23	2823	2846	0.81
	10	29	3690	3719	0.78
Ariston	1	42	2965	3007	1.40
	2	47	3064	3111	1.51
	3	40	2777	2817	1.42
	4	44	3222	3266	1.35
	5	46	3030	3076	1.49
	6	45	3090	3135	1.43
	7	39	3002	3041	1.28
	8	42	2921	2963	1.42
	9	43	2731	2774	1.55
	10	48	3224	3272	1.47
Solitaire	1	51	3313	3364	1.51
	2	42	3027	3069	1.37
	3	48	3442	3490	1.37
	4	45	3160	3205	1.40
	5	49	3270	3319	1.48
	6	52	3380	3432	1.51
	7	46	3334	3380	1.36
	8	41	2804	2845	1.44
	9	37	2615	2652	1.40
	10	40	2853	2993	1.37
Filtek P 60	1	35	3055	3090	1.13
	2	36	3117	3153	1.14
	3	39	3447	3486	1.12
	4	28	2656	2684	1.04
	5	29	2732	2761	1.05
	6	33	3003	3036	1.08
	7	29	2938	2967	0.98
	8	28	2610	2631	1.07
	9	29	2822	2851	1.01
	10	34	3021	3055	1.11
Definite	1	27	2946	2973	0.91
	2	26	2847	2873	0.90
	3	28	2737	2765	1.01
	4	37	3600	3637	1.01
	5	34	3160	3194	1.06
	6	38	6331	3669	1.04
	7	35	3445	3480	1.00
	8	33	3315	3348	0.99
	9	29	2727	2756	1.05
	10	28	2938	2966	0.94
Z-100	1	35	3053	3088	1.13
	2	34	3050	3084	1.10
	3	28	2827	2855	0.98
	4	38	3260	3298	1.15
	5	44	3995	4039	1.08
	6	36	3283	3319	1.08
	7	35	3015	3050	1.15
	8	37	3255	3292	1.12
	9	47	3860	3907	1.20
	10	32	3096	3128	1.02
Tetric Ceram	1	59	3655	3714	1.59
	2	52	3411	3463	1.50
	3	47	3117	3164	1.48
	4	52	3274	3326	1.56
	5	43	3035	3078	1.40
	6	50	3335	3385	1.48
	7	49	3086	3135	1.56
	8	50	3187	3237	1.54
	9	47	3016	3063	1.53
	10	49	3325	3374	1.45

Tabela 16 – Dados originais para o cálculo do conteúdo de carga por massa e volume.

Material	Réplica	Massa da Resina Composta (g)	Massa da Resina composta Imersa (g)	Volume da Resina Composta (cm ³)	Massa das Partículas de Carga (g)	Massa das Partículas Imersa (g)	Volume das Partículas (cm ³)
	1	0.1955	0.0922	0.1033	0.1551	0.0855	0,0696
	2	0.1933	0.0920	0.1013	0.1535	0.0857	0,0694
Alert	3	0.2180	0.1040	0.1140	0.1732	0.0971	0,0761
	4	0.2061	0.0989	0.1072	0.1638	0.0921	0,0717
	5	0.2251	0.1079	0.1172	0.1793	0.1010	0,0783
	1	0.2034	0.1033	0.1001	0.1530	0.0910	0,0620
	2	0.1931	0.1015	0.0916	0.1452	0.0864	0,0558
Ariston	3	0.2223	0.1109	0.1114	0.1668	0.0997	0,0671
	4	0.2000	0.0999	0.1001	0.1510	0.0906	0,0604
	5	0.2400	0.1195	0.1205	0.1800	0.1090	0,0710
	1	0.1962	0.0784	0.1178	0.1240	0.0678	0,0562
	2	0.1719	0.0672	0.1047	0.1081	0.0585	0,0496
Solitaire	3	0.1906	0.0756	0.1150	0.1200	0.0657	0,0543
	4	0.1872	0.0745	0.1127	0.1183	0.0647	0,0536
	5	0.1395	0.0564	0.0831	0.0890	0.0483	0,0407
	1	0.1756	0.0860	0.0896	0.1363	0.0802	0.0561
	2	0.1906	0.0930	0.0976	0.1478	0.0868	0,0610
Filtek P 60	3	0.2070	0.1007	0.1063	0.1607	0.0944	0,0663
	4	0.1988	0.0972	0.1016	0.1535	0.0911	0,0624
	5	0.1716	0.0847	0.0869	0.1332	0.0786	0.0522
	1	0.1767	0.0769	0.0998	0.1277	0.0743	0.0534
	2	0.1695	0.0767	0.0986	0.1234	0.0716	0.0518
Definite	3	0.1732	0.0783	0.1132	0.1261	0.0739	0.0627
	4	0.2060	0.0928	0.1100	0.1498	0.0871	0.0613
	5	0.2016	0.0916	0.0949	0.1467	0.0854	0.0522
	1	0.2211	0.1123	0.1088	0.1755	0.1015	0.0740
	2	0.1809	0.0861	0.0948	0.1442	0.0840	0.0602
Z 100	3	0.1626	0.0775	0.0851	0.1300	0.0756	0.0544
	4	0.2610	0.1242	0.1368	0.2066	0.1200	0.0866
	5	0.1999	0.0983	0.1007	0.1597	0.0916	0.0681
	1	0.2641	0.1370	0.1271	0.1969	0.1244	0.0725
Tetric	2	0.2479	0.1288	0.1191	0.1845	0.1163	0.0682
Ceram	3	0.2331	0.1216	0.1115	0.1744	0.1104	0.0640
	4	0.2088	0.1095	0.0993	0.1562	0.0994	0.0568
	5	0.2346	0.1223	0.1123	0.1752	0.1109	0.0643

Tabela 17 – Dados originais para o cálculo da resistência à flexão

	Réplica	Al	Ar	S	D	P	Z	T
	1	35.08	30.05	15.01	25.15	40.08	40.01	31.53
	2	35.08	25.70	11.60	25.05	55.15	41.29	35.08
	3	30.08	30.05	20.05	25.08	50.22	40.04	31.67
	4	35.01	25.63	15.19	30.05	45.08	41.87	35.63
Carga	5	31.08	25.08	15.01	30.12	47.01	35.84	35.22
Máxima	6	25.05	31.36	16.19	21.25	40.29	40.25	30.08
(N)	7	35.01	25.77	15.05	25.01	45.15	40.18	35.05
	8	40.04	27.56	15.01	25.01	46.04	40.01	35.01
	9	32.56	30.01	15.84	20.05	40.94	40.11	37.08
	10	31.91	20.81	12.29	22.94	43.46	40.01	30.05
	1	134.25	112.68	56.28	94.31	150.30	150.03	118.23
	2	134.25	96.37	43.50	93.93	206.81	154.83	131.55
	3	115.50	112.68	75.18	94.05	188.32	150.15	118.76
	4	131.28	96.11	56.96	112.68	169.05	157.01	133.61
Resistência	5	116.55	94.05	56.28	112.95	176.28	134.40	132.07
à Flexão	6	93.93	117.60	60.71	79.68	151.08	165.93	112.80
(MPa)	7	131.28	96.63	56.43	93.78	169.31	150.67	131.43
	8	150.15	103.35	56.28	93.78	172.65	150.03	131.28
	9	122.10	112.53	59.40	75.18	153.52	150.41	139.05
	10	119.66	78.03	46.08	86.02	162.97	150.03	112.68

ADABO, G. L. *Estudo do conteúdo de partículas inorgânicas, da contração de polimerização e da resistência à flexão de materiais restauradores estéticos diretos indicados para dentes posteriores*. Araraquara, 2000. 185 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

Recentemente, foram lançados no mercado odontológico novos materiais estéticos para restaurações diretas em dentes posteriores, aos quais são atribuídas propriedades mais adequadas para essa indicação. Entretanto, as informações disponíveis são ainda muito escassas, gerando dúvidas quanto à sua real eficácia, sobre quais as diferenças de suas composições e propriedades físicas e mecânicas em relação aos materiais até então disponíveis e se, de fato, apresentam melhor performance clínica. Em vista do exposto, nos propusemos a estudar contração de polimerização, resistência à flexão e concentração de partículas inorgânicas, por massa e volume, de sete resinas compostas (Alert, Ariston, Solitaire, Definite, Filtek P60, Z-100 e Tetric Ceram). A contração de polimerização foi medida nos materiais inseridos em um anel plástico, e o registro das alterações, durante a polimerização, foi feito por meio de instrumento eletrônico de medida linear, que registra as alterações dimensionais, com sensibilidade de 1 μm . A resistência à flexão foi medida na máquina de ensaios mecânicos MTS 810 e a confecção dos corpos-de-prova e dos dispositivos para o ensaio foi orientada pela

norma ISO nº 4049:1988. A determinação do conteúdo de partículas inorgânicas por massa foi feita através da pesagem de uma porção de resina composta polimerizada antes e após a eliminação da fase orgânica em forno, à temperatura de 700°C. O percentual volumétrico de partículas inorgânicas foi calculado com base no Princípio de Arquimedes. Foi determinado o volume da resina composta polimerizada, antes e após a eliminação da fase orgânica, pela diferença da massa do material pesado ao ar e imerso em água. Os dados de conteúdo de partículas inorgânicas por massa e por volume, de contração de polimerização e resistência à flexão foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, que mostraram existir diferenças estatisticamente significantes entre os materiais em todos os ensaios realizados. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que:

- As resinas compostas Alert e Z-100 apresentaram os mais elevados valores médios de conteúdo de partículas inorgânicas por volume, seguidas das resinas compostas Filtek P60 e Ariston pHc, que foram superiores a Tetric Ceram, Definite e Solitaire.
- As resinas compostas Z-100 e Alert mostraram as maiores médias de conteúdo de partículas inorgânicas por massa, seguidas, seqüencialmente, pelos compósitos Filtek P60, Ariston pHc, Tetric Ceram, Definite e Solitaire.
- O material que apresentou a menor média de contração de polimerização foi o compósito Alert, seguido das resinas compostas Definite e Filtek P60, e esta, por sua vez mostrou contração similar à do compósito Z-100. Os maiores percentuais médios de contração de polimerização foram obtidos para as resinas compostas Ariston pHc,

Solitaire e Tetric Ceram, com comportamentos similares entre si.

- A maior média de resistência à flexão foi obtida para a resina composta Filtek P60, seguida da Z-100. Imediatamente abaixo, situaram-se os compósitos Tetric Ceram e Alert. Em seguida, apresentaram-se as resinas compostas Ariston pHc e Definite , com médias superiores à da Solitaire.

Palavras-chave: Materiais dentários; resinas compostas; estética dentária

ADABO, G.L. *Study of the content of inorganic particles, polymerization contraction and flexural resistance of esthetic filling materials, indicated for posterior teeth.* Araraquara, 2000. 185 p. Tese (livre docência) – Faculdade de Odontologia. Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

Recently new esthetic materials for direct restorations in posterior teeth were introduced in the dentistry market, which were attributed properties more adequate for this indication. However, the information available is still very scarce, producing uncertainty of its real efficacy. There is existence of doubts regarding the differences in composition, physical and mechanical properties related to the materials available and if, in fact, they present better clinical performance. Due to the exposed, we proposed to study the polymerization contraction, flexural resistance and concentration of inorganic particles by mass and volume of seven composite resins (Alert, Ariston, Solitaire, Definite, Filtek P60, Z-100 and Tetric Ceram). The polymerization contraction was measured with the materials inserted in a plastic ring. The registration of the alterations, during the polymerization was done through an electronic instrument of linear dimension with sensibility of 1µm. The flexural resistance was measured by the MTS 810 mechanical test machine and the confection of the samples and the device for the tests were orientated by the ISO n° 4049:1988 norm. The determination of the content of inorganic particles per mass was made. A portion of composite resin was weighed

before and after the elimination of the organic phase in an oven, at a temperature of 700°C. The volume percentage of the inorganic particles was calculated based on the Arquimedes's Principle. The volume of composite resin polymerized was determined before and after the elimination of the organic phase, by the difference in the mass of the material weighed in air and immersed in water. The data regarding the content of inorganic particles per mass and volume, polymerization contraction and flexural resistance were submitted to the Variance analyses and Tukey's test. The results showed significant statistical differences between the materials in all the tests executed. Based on the data obtained it was possible to conclude that:

- The composite resins Alert and Z-100 presented the most elevated mean content of inorganic particles per volume, followed by the composite resins Filtek P60 and Ariston pHc which were superior to Tetric Ceram, Definite and Solitaire.
- The composite resins Alert and Z-100 presented the most elevated mean inorganic particles content per mass, following sequentially by the composites Filtek P60, Ariston pHc, Tetric Ceram, Definite and Solitaire.
- The material that presented smallest mean polymerization contraction was the composite resin Alert, followed by the composites Definite and Filtek P60, which showed contraction similar to Z-100. The highest mean percentage of polymerization contraction was obtained for the composite resins Ariston pHc, Solitaire and Tetric Ceram that had similar behavior between each other.
- The greatest mean flexural resistance obtained was for the composite resin Filtek P60, followed by Z-100. Situated immediately below the composites Tetric Ceram and Alert.

The composite resins Ariston pHc and Definite had flexural resistance lower than the above and with averages superior than Solitaire.

Key-words: Dental materials; composite resins; dental esthetic.

Autorizo a reprodução deste trabalho

Araraquara, 05 de maio de 2000

GELSON LUIS ADABO