“CREEP” EM RESINAS COMPOSTAS FOTOPOLIMERIZÁVEIS

MARCELO GUERINO PEREIRA COUTO

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Odontologia, área de Dentística, opção Materiais Dentários.

Bauru
2000

“CREEP” EM RESINAS COMPOSTAS FOTOPOLIMERIZÁVEIS

MARCELO GUERINO PEREIRA COUTO

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Odontologia, área de Dentística, opção Materiais Dentários.

(Edição Revista)

Orientador: **Prof. Dr. Paulo A. Silveira Franscisoni**

Bauru
2000

Couto, Marcelo Guerino Pereira

C837c “Creep” em resinas compostas fotopolimerizáveis /
Marcelo Guerino Pereira Couto – Bauru, 2000. 97p.: il.;
30 cm.

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso Silveira
Francisconi.

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

Autor: Marcelo Guerino Pereira Couto

Data: abril, 2000.

DADOS CURRICULARES

MARCELO GUERINO PEREIRA COUTO

09 de março de 1965

Nascimento.

Rio de Janeiro – RJ.

Filiação

Mário Pereira Couto.

Anna Maria da Silva Couto.

1983 – 1987

Curso de Odontologia – Faculdade de
Odontologia de Nova Friburgo – Nova
Friburgo – RJ.

1987

Cirurgião-dentista efetivo lotado no Serviço de
Odontologia do Tribunal de Contas do Estado
do Rio de Janeiro.

1987

Primeiro-Tenente Cirurgião-dentista da
Marinha do Brasil.

- 1987 Professor Auxiliar de Ensino da Disciplina de Materiais Odontológicos da Faculdade de Odontologia da A.F.E. – Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy” – UNIGRANRIO.
- 1988 – 1989 Curso de Pós-Graduação em Radiologia Oral em nível de Especialização na Faculdade de Odontologia da UNIGRANRIO.
- 1989 Professor Assistente da Disciplina de Materiais Odontológicos da Faculdade de Odontologia da UNIGRANRIO.
- 1990 Professor Assistente Responsável pela Disciplina de Materiais Odontológicos da Faculdade de Odontologia da UNIGRANRIO.
- 1991 Professor Titular de Materiais Odontológicos da Faculdade de Odontologia da UNIGRANRIO – RJ.

- 1992 Curso de Pós-Graduação em Metodologia do Ensino Superior em nível de Especialização na UNIGRANRIO.
- 1995 Defesa da Dissertação de Mestrado em Dentística opção Materiais Dentários na Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo.
- 1998 Professor Titular de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Nova Friburgo.
- Associações
- GBMD – Grupo Brasileiro de Materiais Dentários.
 - The Pierre Fauchard Academy – U.S.A.
 - Academia Brasileira de Odontologia Militar.
 - Colégio Brasileiro de Cirurgiões e Implantologistas Orais.
 - Associação Brasileira de Cirurgia Oral.
 - Associação Brasileira de Odontologia de Minas Gerais.
 - Associação Brasileira de Odontologia do Rio de Janeiro.
 - Academia “Tiradentes” de Odontologia.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, por ter me dado o privilégio de continuar vivendo.

Ao meu pai Mário Couto, minha mãe Anna Maria e minha avó Hermelinda, por todo o carinho, amor, exemplo de honestidade e dedicação e, também, pelo estímulo profissional e universitário, dando-me sempre as melhores condições de seguir a carreira do meu pai.

Ao meu filho Mário, que chegou para alegrar mais ainda o nosso lar, um montão de beijos para você. Te amo!

À Adriana, minha esposa, o exemplo de fidelidade, companheirismo e amor.

Por tudo isso e muito mais, todo o meu esforço,
sacrifícios e sucessos, dedico à vocês.

Pai,
onde quer que você esteja,
meu muito obrigado
e, até o nosso encontro.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao Doutor Paulo Afonso Silveira Francisconi, meu orientador,

por ter depositado em mim toda confiança para o desenvolvimento deste trabalho,

pela orientação firme,

pelas vezes em que deixou de lado tanta coisa para poder dedicar seu valioso tempo para me orientar, dando-me condições de elaborar este trabalho, ajudando no meu crescimento profissional.

Por toda sua dedicação, compreensão e estímulo,

o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Halim Nagem Filho, com quem tive a oportunidade de aprender,
obrigado!

Ao Prof. Dr. Paulo Amarante de Araújo, por toda sua transmissão de paz,
amizade e conhecimento,
minha gratidão.

Ao Prof. Dr. César Antunes de Freitas, pelo nosso convívio,
o meu muito obrigado.

Ao Alcides e Lourisvalda, por toda nossa amizade. Nosso convívio foi muito
bom,
obrigado.

Ao saudoso Prof. José de Souza Herdy, por ter me aceito no corpo docente da sua Faculdade, a qual estou fiel até hoje,

meu sincero agradecimento.

Ao meu amigo e padrinho Arody Cordeiro Herdy, magnífico Reitor da Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy” – Duque de Caxias – RJ. Por todo estímulo e apoio na minha carreira universitária; nunca mediu esforços para ajudar-me, sempre me recebendo e nunca negando nada para mim,

muito obrigado por tudo.

À Sr^a Nilza Cordeiro Herdy, Presidenta da Associação Fluminense de Educação – A.F.E. – UNIGRANRIO,
por tudo, meu agradecimento.

E a toda família Herdy, meus amigos, muito obrigado.

À Prof^a Anadir Cordeiro Herdy – Chefe do Departamento de odontologia da Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, por todo seu empenho e amizade. o meu muito obrigado.

Ao Prof. Benjamin Cordeiro Herdy, da Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, por toda atenção, meus agradecimentos.

Ao Prof. Carlos de Oliveira Varella – da Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, pela atenção sempre dada à mim, pela amizade,
muito obrigado.

À Prof^a. Maria Vitória de Souza Guimarães – da Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”,
os meus agradecimentos por todo seu empenho.

Aos meus auxiliares de ensino, Rosana, Angelina e Carlos, por todo empenho, espírito de equipe, por tudo,
muito obrigado.

À Direção das Faculdades de Odontologia da UNIGRANRIO e FONF, pelo apoio,
meus agradecimentos.

Nunca poderia me esquecer de você, meu inesquecível amigo, Carlos Augusto Malta que, por vontade de Deus, não está mais conosco; e à toda a família Guerra e Malta,
minha gratidão.

Durante todo o meu curso tive que abrir mão de muita coisa, realmente não foi fácil, foi necessário muita força de vontade para vencer esta barreira da vida por mim escolhida. A distância de casa, de nossos familiares e amigos, sem falar das velejadas no final de semana em Iguaba. É, como era duro o domingo; nessas horas nós temos mais ainda a demonstração da existência de Deus que nos ajuda a encarar todas essas dificuldades. Quanta saudade, de nossa família que só víamos às vezes e, muita saudade do papai, que já tem um tempão que não nos vemos, desde que nos deixou, por vontade de Deus, mas ao mesmo tempo, tenho a certeza de que, quando Deus quiser, nos encontraremos.

Ao meu irmão, Mário Pereiro Couto Júnior, por ser ele o amigo que luta sempre comigo., tanto que se torna até impossível escrever. Seriam necessárias muitas folhas. À sua esposa Rafaella, meu muito obrigado também. E a você, Júnior,

multíssimo obrigado. Valeu!

À minha mulher, Adriana, que está sempre pronta para tudo e à qualquer hora. Tenho certeza de que as dificuldades seriam maiores sem a sua ajuda e seu apoio. Por ter me dado a coisa mais linda da nossa vida: o Mário Neto. Por todo seu estímulo,

lhe agradeço muito; mil beijos para você.

Aos meus sogros, Naide e Cleudir, por terem gerado minha mulher.

Ao meu cunhado Vinícius, obrigado.

À família Berman, em especial ao Márcio, meu amigo, por sua fiel amizade e compreensão, meu muito obrigado.

Ao meu amigo Mário César, obrigado por existir. Não encontrei palavras para falar de você.

Chegar aqui foi muito difícil, em alguns momentos pensei ser impossível, mas cheguei!

Agradeço aos mestres que me deram a oportunidade do convívio, aprendizado e crescimento. Vocês são inesquecíveis e sempre serão citados por nós.

Agradeço a todos os que direta ou indiretamente ajudaram neste trabalho e, aos que os nomes não citei, por favor, me desculpem pelo esquecimento, mas esta hora é difícil e até mesmo emocionante para mim. Se me esqueci de você, desculpe, você sabe que teve sua participação também...

Muito obrigado.

“...Guia-me mansamente as águas tranquilas...”
mais uma vez, obrigado meu Deus.

SUMÁRIO

RESUMO	xxi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	4
3 - PROPOSIÇÃO	37
4 - MATERIAL E MÉTODOS	39
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6 - CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ABSTRACT	96

RESUMO

RESUMO

As resinas compostas vêm sofrendo inúmeras alterações com o objetivo de tornar o seu uso adequado para restaurações de dentes posteriores, entretanto, problemas clínicos associados à sua utilização são comumente observados, dentre eles sua resistência ao desgaste e à abrasão, a contração de polimerização, a microinfiltração marginal, e sua deformação permanente (importante propriedade em situações clínicas onde existem áreas sujeitas às forças oclusais) e esta, normalmente não é considerada. Visando determinar o “creep”, por meio da deformação permanente, amostras confeccionadas com resinas compostas fotopolimerizáveis: ALERT [A] (Jeneric®/Pentron®), CHARISMA F [C] (Heraeus/Kulzer), HELIOMOLAR RADIOPAQUE [H] (Vivadent), SOLITAIRE [S] (Heraeus/Kulzer) e TETRIC CERAM [T] (Vivadent) após armazenamento em água, à temperatura de $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$, foram submetidas a uma carga compressiva constante de 36MPa, por períodos de: 15 minutos, 1 hora e 24 horas. Os resultados obtidos apresentam os valores quantitativos da diferença entre o comprimento original da amostra e o seu comprimento após o ensaio, em cada período estabelecido. A análise estatística dos dados apresentados pelas cinco resinas compostas avaliadas nos quatro períodos determinados, demonstrou resultados de “creep estático” (em ordem decrescente), para o período de 15 minutos: [H] ($\bar{X}=1,0192\%$), [T] ($\bar{X}=0,8787\%$), [C] ($\bar{X}=0,7469\%$),

[S] ($\bar{X}=0,6738\%$) e [A] ($\bar{X} = 0,5095\%$). Para o período de 1 hora: [H] ($\bar{X}=1,5546\%$), [T] ($\bar{X}=1,2082\%$), [C] ($\bar{X}=0,9744\%$), [S] ($\bar{X}=0,8245\%$), [A] ($\bar{X}=0,6348\%$) e, para o último período observado, 24 horas, obteve-se a seguinte seqüência: [H] ($\bar{X}=2,3747\%$), [T] ($\bar{X}=1,7993\%$), [C] ($\bar{X}=1,2812\%$), [S] ($\bar{X}=1,2645\%$) e [A] ($\bar{X}=0,7600$). Os valores médios do “creep estático” das resinas CHARISMA F e SOLITAIRE não foram estatisticamente diferentes em qualquer um dos períodos estudados, sendo que no período de 15 minutos, os resultados obtidos para a resina TETRIC CERAM também se assemelharam aos destas e, em 1 hora, os da resina composta ALERT foram similares aos das duas primeiras; porém, a resina HELIOMOLAR RADIOPAQUE, apresentou mensurações divergentes das anteriores, demonstrando piores características de deformação permanente, por possuir maiores valores de “creep estático” em qualquer período estudado.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Na década de 30 foram introduzidos na odontologia materiais sintéticos de alto peso molecular na formulação de uma resina acrílica à base de metilmetacrilato. A utilização desta como restauração estética direta na odontologia em substituição do cimento de silicato ocorreu devido à superior qualidade desse material. Entretanto, apresentou falhas inaceitáveis como alto índice de contração e descoloração.

No final da década de 50, BOWEN⁶ desenvolveu um novo material odontológico: as resinas compostas que, durante os anos 60, foram utilizadas, pela dentística, como restauradora em dentes anteriores e posteriores. A aplicação desse produto em regiões de pré-molares e molares não apresentou um desempenho clínico satisfatório quanto à resistência ao desgaste, fadiga e deformação plástica.

Com alterações na química, no tamanho, na concentração e na forma das partículas e uma modificação no complexo resinoso da matriz, houve aceitação desses produtos como restauradores de dentes

posteriores, pois apresentaram melhoria em suas propriedades físico-químicas.

Uma das propriedades importantes a serem avaliadas em material restaurador, principalmente para região posterior, é o “creep”, que é um processo pelo qual o material, quando sujeito a uma pressão de carga, sofre uma alteração, em comprimento, em relação à duração da carga aplicada^{1, 34, 35, 38, 48}. A velocidade desta alteração depende da intensidade da carga²³, da temperatura^{5, 11, 17, 40, 47, 49}, do tempo de duração do teste^{11, 17, 22, 23, 42, 53}, da composição química do material^{16, 18, 30, 32, 47, 52} e de sua estrutura interna^{34, 52}.

Em materiais viscoelásticos, quando submetidos a baixas tensões por longo período de tempo, ocorre uma deformação permanente denominada “creep estático”^{1, 4, 10, 22, 33, 34, 35, 38, 39, 44, 47, 48, 56}. Por serem, as resinas compostas, materiais viscoelásticos^{1, 7, 34, 35, 38, 42, 44, 53}, estas apresentam deformação permanente a baixas tensões em função do tempo^{39, 41}.

Considerando existir uma relação entre o “creep estático” de uma resina composta e seu desempenho clínico como material restaurador em dentes posteriores^{10, 20, 22, 23, 24, 25, 31, 33, 35, 38, 41, 42, 55} e, diante

de uma crescente utilização das resinas compostas para esse fim^{9, 19, 31, 36, 37, 44}, parece ser de interesse a avaliação dessa propriedade nos produtos comercializados.

2-REVISÃO DE LITERATURA

2 - REVISÃO DE LITERATURA

No livro escrito por SCHMIDT; MARLIES⁴⁹, em 1948, sobre princípios teóricos e práticos de polímeros há a afirmação de que o “creep” é usualmente estudado aplicando uma carga de tração constante, em temperatura constante e medindo o aumento do alongamento em função do tempo. Como uma expectativa da teoria, o índice do “creep” para um dado material aumentou em razão da temperatura e da tensão. O índice de “creep” de muitos grandes polímeros foi sensível à umidade porque o vapor da água tem efeito plastificante.

FRITH; TUCKETT¹⁸, em 1951, estudando polímeros lineares, definiram que a deformação final pode ser formalmente estabelecida em termos de uma função, conhecida como função “creep”. Uma curva ideal de “creep” mostraria uma extensão relativa, produzida pela aplicação de uma carga, numa região borrachóide e aumento rápido para um valor constante. Em altas temperaturas, entretanto, é usualmente encontrado que a extensão relativa aumenta com o tempo e este fato pode ser

explicado pela hipótese da ruptura da rede e sua reestruturação. A medida do “creep” pode ser contínua ou intermitente. No experimento contínuo do “creep”, a extensão relativa para uma determinada carga é medida como uma função contínua do tempo, enquanto no experimento intermitente a extensão é medida em intervalos para a mesma carga, removida entre leituras.

Em 1962, TOBOLSKY⁵³, em um estudo teórico sobre as propriedades e estrutura dos polímeros, analisou a deformação destes em função do tempo. Em sua análise, afirmou que, muito freqüentemente, os experimentos do “creep” à tração são discutidos em termos de uma tendência elástica. Se uma carga constante é aplicada em um pedaço de borracha de secção transversal, há um imediato alongamento elástico, com o tempo, do comprimento não-estressado para o comprimento estressado. Se a borracha manifestar comportamento viscoelástico, continuará a estender-se com o tempo, num fenômeno conhecido como “creep” e é particularmente notado que o índice de “creep” mostra uma dependência muito marcada da carga aplicada, como medida para o alongamento inicial. Entretanto, o descanso molecular ocorre

independente da tensão. Se uma amostra de borracha vulcanizada é submetida a uma carga constante, na variação da temperatura, o comportamento químico-reológico, irá, primeiro, exibir uma resposta elástica imediata e, então, continuará a alongar-se indefinidamente pela divisão da rede. O autor afirmou que este fenômeno pode ser denominado “creep químico”.

BOWEN⁶, em 1963, apresentou um novo material e, descreveu as propriedades deste, constituído de um polímero à base de Bis-GMA e reforçado com partículas de sílica tratadas superficialmente com vinilsilano. A contração de polimerização e o coeficiente de expansão térmica linear, quando comparado com as resinas acrílicas sem partículas diminuíram, enquanto a resistência à compressão e o módulo de elasticidade apresentaram valores mais altos.

VIEIRA⁵⁶, em 1965, lançou um livro onde classifica e concentua, minuciosamente, de forma clara e objetiva, todas as propriedades dos materiais odontológicos, tornando-se literatura indispensável na formação intelectual e especializada da classe estudantil e científica.

Em 1966, analisando aspectos teóricos e práticos das propriedades de um material composto, LOEWENSTEIN³² afirmou que as propriedades de um sistema resina/vidro são dependentes de vários fatores: a quantidade e o tipo de vidro e da resina, a distribuição do vidro na matriz, as condições sob as quais o composto será usado e aspectos relacionados ao processo de fabricação. A importância do uso correto da quantidade de partículas foi demonstrada no “creep” de laminados epóxicos. O valor do “creep” foi ao mínimo quando a correta proporção de partículas foi utilizada, independentemente do tipo de partícula usada. Entretanto, o composto poderá ter sua resistência diminuída pela temperatura, água ou algum outro líquido não reativo que possa ser temporariamente absorvido. Mesmo em temperatura baixa ocorreu “creep” moderado e a fratura do composto foi frágil ou plástica, dependendo da composição, grau de polimerização e intensidade de tensão.

Após observarem, clinicamente, por um ano, restaurações classe II de resina composta (Adaptic) e de amálgama (Velvalloy),

PHILLIPS et al.⁴⁵, em 1971, publicam um trabalho, comparando o desempenho das propriedades de cada material. Verificaram a incidência de fraturas marginais e a perda de contorno nas restaurações de resinas, enquanto que nas de amálgama, exceto em três casos, não houve falhas.

Segundo LEE; ORLOWSKI³⁰, em 1974, as propriedades mecânicas das resinas compostas são influenciadas por fatores: composição da fase dispersa, composição da fase contínua, resistência mecânica da fase dispersa, tamanho e forma das partículas da fase dispersa, resistência adesiva entre a fase dispersa e a matriz, ductibilidade da matriz polimerizada, homogeneidade da matriz. Afirmam que as características da resina composta influenciam em suas propriedades mecânicas, mas também determinam qual o método de teste, o tamanho e a forma do corpo-de-prova, além da interpretação dos resultados. Os testes para resina composta restauradora envolvem um conjunto de procedimentos que podem ser considerados únicos para esse material.

MACCHI³⁴ disserta em seu livro os requisitos indispensáveis para o conhecimento das características e propriedades dos materiais

dentários. Ao classificar os materiais, de acordo com o grupamento de átomos que os constituem, o autor considerou que átomos diferentes formam materiais com propriedades mecânicas diferentes. O estudo dessas propriedades permite analisar o comportamento da estrutura interna submetida à ação de uma força externa, com capacidade de alterar a posição e a distância entre os átomos, exteriorizada como uma deformação mecânica. Quando uma tensão inferior ou igual ao limite de proporcionalidade é induzida em um material, verifica-se um comportamento elástico após a remoção da carga. Se a tensão induzida é superior a este limite, caracteriza-se um comportamento plástico com a presença de deformação permanente. Em muitos materiais não cristalinos, viscoelásticos ou anelásticos, quando a tensão induzida é inferior ou igual ao limite de proporcionalidade, verifica-se um comportamento não elástico, com deformação permanente devido ao componente viscoso. Essa deformação em função do tempo de aplicação da carga denomina-se “creep estático”, um valor percentual da relação entre a variação do comprimento inicial do corpo-de-prova.

JØRGENSEN²⁵, em 1980, avaliou uma possível interação entre as propriedades mecânicas e a abrasão clínica de resinas compostas convencionais e de micropartículas. O objetivo foi verificar a relação entre a abrasão clínica e as propriedades de abrasão, resistência à compressão, deformação compressiva e dureza, realizadas *in vitro*. Os resultados obtidos demonstraram que são, provavelmente, interdependentes. Assim, as resinas menos resistentes podem ser deformadas permanentemente para formar superfícies deformadas com maior rugosidade superficial, possibilitando maior fricção e desgaste.

Por meio de análise qualitativa e quantitativa, ASMUSSEN², também em 1980, determinou a presença de amins terciárias em dezesseis marcas de resinas compostas comercializadas. Verificou que essas resinas compostas diferem entre si em relação ao tipo e à quantidade de amina terciária. Três diferentes tipos desse componente foram encontradas e, quantitativamente, o conteúdo variava entre 0,3 e 0,4%, em peso.

Ainda nesse ano, o mesmo autor³ analisou quantitativamente a presença de peróxido de benzoíla em resinas compostas. Nos produtos comerciais analisados, a quantidade desse elemento variou entre 0,3 e 2,6%, por volume de monômero, demonstrando haver uma diferença significativa entre os diversos produtos comercializados.

Em estudo realizado por DULIK; BERNIER; BRAUER¹⁶, em 1981, foi determinado o efeito do monômero diluente nas propriedades de uma solução de monômero e de uma resina composta à base de Bis-GMA, do sistema pó/líquido. Vários tipos de soluções de monômeros utilizando concentração e diluentes diferentes foram preparadas, enquanto o pó empregado possuía a mesma composição e concentração. Com os resultados obtidos, concluíram que o tipo e a concentração do diluente adicionado ao monômero à base de Bis-GMA afetam as propriedades físicas da porção líquida da resina composta. A viscosidade e a tensão superficial do líquido aumentam com a diminuição da concentração do diluente e aumentando o peso molecular do mesmo. Um líquido com baixa tensão superficial mostrou aumentar o umedecimento da mistura

pó/líquido, resultando um aumento nas propriedades mecânicas das resinas compostas.

No ano posterior, WU; MCKINNEY⁵⁹, demonstraram o efeito de algumas substâncias, com parâmetros variáveis de solubilidade, capazes de amaciar quimicamente a camada superficial do polímero à base de Bis-GMA e diminuir a sua resistência à abrasão. A resina composta utilizada, Adaptic, apresentou resistência à abrasão relativamente baixa quando foi imersa em substâncias químicas que amaciam o copolímero Bis-GMA. A perda da resistência à abrasão foi particularmente notável durante os primeiros estágios dos testes. Ocorreu, também, uma diminuição das taxas de desgaste, atribuída à menor concentração do solvente.

As características de “creep” de quatro resinas compostas fotoativadas de diferentes composições foram determinadas em 37° C e 50 ° C, por RUYTER; ØYSÆD⁴⁷, em 1982. Essas propriedades foram comparadas com a composição dos materiais. O produto de micropartículas apresentou valores de “creep” mais altos que os materiais

convencionais; possivelmente devido à distribuição não-homogênea das micropartículas inorgânicas aglomeradas. Além disso, a fração de partículas inorgânicas era menor que nos materiais compostos convencionais. Porém, uma resina composta convencional teve quase os mesmos valores de “creep” que os produtos de micropartículas. O conteúdo de uma molécula grande de monômero e a conversão inadequada neste composto convencional pode ter contribuído para este efeito de plasticidade. A resina composta com os mais baixos valores de “creep” tem um sistema de oligômero/monômero com ramos curtos de grupos metacrilatos pendentes após a polimerização e relativamente boa conversão. Este estudo demonstrou que o “creep” de resinas compostas, sob condições de ótima conversão, é influenciado pelo conteúdo de partículas inorgânicas, tipo dessas partículas e estrutura final da fase orgânica.

Também nesse ano, RUYTER; ØYSÆD⁴⁶ desenvolveram outro trabalho de pesquisa, a fim de determinar a conversão em diferentes profundidades, a profundidade de polimerização máxima e avaliar alguns fatores que afetam a penetração da luz de ativação, em sete marcas

comerciais de resinas compostas. Foram investigadas quatro marcas comerciais de resinas compostas do tipo convencional e uma com micropartículas, polimerizadas com luz ultravioleta. Dois desses produtos eram polimerizados por luz visível, sendo um do tipo convencional. Esta investigação demonstrou que a conversão em profundidades diferentes e a profundidade máxima de polimerização são dependentes da composição do material, fonte de luz e tempo de exposição. Os melhores resultados de profundidade de polimerização foram obtidos com os materiais de partículas convencionais, em comparação aos de micropartículas. O sistema de luz visível apresentou maior profundidade de polimerização que o sistema com luz ultravioleta. Um fator limitante para a polimerização total em profundidade é a dispersão da luz emitida. A dispersão máxima ocorreu quando o tamanho das partículas foi aproximadamente a metade do comprimento de onda da luz de ativação, como o produto de micropartículas ativado por luz ultravioleta.

O “creep” de microespécimes de duas resinas compostas convencionais e de duas de micropartículas foi estudado por

PAPADOGLIANIS; BOYER; LAKES⁴¹, em 1984, usando um aparelho de “creep” por torção. Pequenas tensões abaixo do limite de proporcionalidade desses materiais foram mantidas por 3 horas e a recuperação foi monitorada por 30 horas. Foram obtidas curvas de “creep” em 21,5°C, 37°C e 50°C em três níveis de torque. As resinas compostas exibiram comportamento de viscoelasticidade linear à baixas deformações. A magnitude de “creep” dependeu do tipo e da composição da resina composta. Os materiais não recuperaram a sua forma original depois de 30 horas da remoção da tensão. Nenhuma transição foi observada na variação de temperatura empregada. O módulo de cisalhamento diminuiu com a temperatura e está de acordo com os valores obtidos em outros testes, relatados na literatura.

GOLDMAN²¹, em 1985, avaliou propriedades relacionadas à fratura observada clinicamente e ao fenômeno de desgaste de três marcas comerciais de resinas compostas convencionais, dois cimentos de ionômero de vidro e uma resina Bis-GMA experimental. Mediu, pelo método de dupla torção, em uma máquina de teste universal, o coeficiente de intensidade de tensão crítica (K_{Ic}). O módulo de

elasticidade foi experimentalmente determinado, por compressão, na máquina universal de teste. O grau de liberação de energia na tensão crítica (G_{ic}), foi calculado por fórmula matemática. A extensão inerente da fenda (A_o), foi calculada por meio de fórmula matemática específica. A fratura de um material foi considerada dependente dos valores de K_{Ic} , do tamanho da fenda ou extensão dentro do material e a ação da carga no material.

Em 1985, ASMUSSEN⁴, estudando a relação entre o desempenho clínico e as propriedades das resinas compostas, afirmou que as resinas com macropartículas apresentavam menor resistência compressiva, maior resistência à tração e menor resistência à abrasão quando comparadas com as resinas compostas de micropartículas. Nesta avaliação, o autor afirma que a resistência compressiva não tem significado clínico documentado e que, mesmo em áreas de suporte de pressão, as resinas não são esmagadas ou fraturadas, concluindo que a resistência compressiva é suficientemente alta e não deve ser usada como parâmetro para classificar as resinas compostas. Como a diferença de valores na resistência à tração não se refletiu em estudos clínicos foi,

portanto, considerada irrelevante do ponto de vista clínico. Em relação à avaliação da resistência à abrasão, baseou-se em JØRGENSEN²⁵ para explicar o processo de desgaste das resinas compostas de macropartículas e de micropartículas. A menor dureza e a maior quantidade do polímero, o maior tamanho das partículas, a presença de substâncias amolecedoras na alimentação e, além disso, a produção de agentes plastificantes eficazes na placa bacteriana, tais como: os ácidos propiônico e acético favorecem o desgaste.

VANHERLE; SMITH⁵⁵, em 1985, descreveram as propriedades das resinas compostas, em relação ao “creep”, em seu livro: materiais restauradores - resina composta para dentes posteriores, principalmente no capítulo do sistema de polimerização dos monômeros. Os autores verificaram a deformação plástica que pode ser observada como característica da deformação provocada pela carga submetida sobre o corpo-de-prova de resina. As características do “creep” de algumas resinas fotoativadas com diferente composição foram determinadas e ilustradas em figuras elucidativas.

Também nesse ano, COCK; WATTS¹¹, determinaram o comportamento de deformação sob carga compressiva de seis resinas compostas comerciais. Foram utilizados três produtos de micropartículas, sendo um fotopolimerizável e dois do sistema pasta/pasta quimicamente ativados. As outras marcas comerciais eram do tipo convencional e, enquanto uma era fotopolimerizável, duas eram do sistema pasta/pasta quimicamente ativadas. Cada corpo-de-prova foi submetido a uma carga compressiva constante por um período de 28 horas a uma temperatura de 22°C. Todos os produtos estudados deformaram progressivamente com o tempo e a magnitude da deformação aumentava quando aumentava a carga aplicada. Esta variação foi dependente de alguns fatores, tais como: composição da resina, grau de conversão, porosidade e volume de resina. A relativamente alta deformação encontrada nos materiais de micropartículas foi atribuída à deformação da matriz de resina e das partículas de resina orgânica. O maior valor de deformação foi encontrado num produto de micropartículas e alto conteúdo da fase de resina. A deformação da resina composta foi considerada de significativo valor clínico em áreas de suporte de carga como em restauração classe IV, restauração tipo coroa e em situações de bruxismo.

O comportamento de deformação de três marcas comerciais de resinas compostas foi determinado por BAPNA; MUELLER; KNOEPPEL⁵, em 1985. Analisaram dois produtos convencionais (Adaptic e P10) e um de micropartículas (Silar). Os testes foram realizados nas temperaturas de 23°C, 37°C e 50°C com carga inicial variando de 5% a 75% da resistência compressiva de cada produto. A maior deformação de “creep” ocorreu no material de micropartículas. A elevação da temperatura e da carga aplicada aumentou a deformação. A curva do “creep” foi caracterizada por grande deformação inicial seguida de um mínimo de escoamento, no período de 24 horas, para os três produtos testados.

Em 1985, PAPADOGIANIS; BOYER; LAKES,⁴² determinaram o comportamento do “creep” de três resinas compostas fabricadas para uso em dentes posteriores. Para investigar essa propriedade empregaram um aparelho de “creep” por torção, sendo mantida, na amostra, essa tensão por 3 horas e, então observada a recuperação, do espécime, por 50 horas. As curvas de “creep” foram obtidas a 21°C, 37°C e a 50°C, em

quatro níveis de torque. Também foi investigado o efeito da armazenagem do corpo-de-prova durante oito semanas. As resinas compostas posteriores apresentaram um comportamento de viscoelasticidade à baixas deformações. Os valores mais elevados de módulo de cisalhamento e resistência ao “creep” foram apresentados pelas resinas compostas convencionais quando comparados com as diferentes resinas compostas de micropartículas estudadas. Em espécimes envelhecidos, o valor máximo de módulo de cisalhamento encontrado foi quando estavam armazenados entre 48 horas a uma semana; os valores menores subsequentemente obtidos foram atribuídos à sorção de água. A tensão residual era mais alta nas primeiras 24 horas da polimerização, sendo encontrados valores bem baixos nos espécimes armazenados por 48 horas a uma semana.

No mesmo ano, FERRACANE; MATSUMOTO; OKABE¹⁷ avaliaram a resistência à compressão e o “creep” de vinte e uma marcas comerciais de resinas compostas e a co-relação com a porcentagem do volume de carga e a extensão da polimerização das resinas. Esse ensaio foi realizado aplicando-se uma carga compressiva constante de 36MPa a

uma temperatura de 37°C, por um período de 24 horas. Em geral, a resistência e o “creep” das resinas compostas dependiam mais do volume das partículas que da extensão da polimerização. Entretanto, os tipos de monômero e partículas usados na formulação desses produtos parecem ter um papel importante na resistência à compressão e no “creep”.

O propósito da investigação desenvolvida por ØYSÆD; RUYTER⁴⁰, em 1986, foi determinar algumas propriedades mecânicas de oito diferentes resinas compostas usadas para restaurações em dentes posteriores e como essas são afetadas pela sorção de água. As características de “creep” por compressão foram expressadas como tensão/deformação em função do tempo. A relação tensão/deformação a uma carga constante foi determinada em ensaios de compressão e flexão e apresentada como módulo elástico, resistência final e deformação permanente. A sorção de água aumentou os valores de “creep” em todos os materiais. Geralmente os produtos com mais elevada sorção de água tiveram o maior aumento no “creep”. A sorção de água diminuiu o módulo de elasticidade e os valores de resistência final. Os valores de

“creep” diminuíram e o módulo de elasticidade aumentou com o aumento da quantidade de carga inorgânica.

Em 1987, LAMBRECHTS; BRAEM; VANHERLE²⁹, revendo a literatura especializada, analisaram as propriedades de relevância clínica que afetariam a durabilidade das restaurações de resinas compostas. Entre outras afirmações dos autores, foram citadas:

- a estrutura molecular e a quantidade de diferentes monômeros, bem como a quantidade e o tipo das partículas usadas influenciam as propriedades do material polimerizado;
- os materiais com menor conteúdo de partículas são mais propensos à deformação mecânica;
- o padrão de desgaste da superfície oclusal é dividido em desgaste de área com contato oclusal e em área livre de contato. No desgaste da área de contato oclusal, ocorre a formação de facetas de desgaste, provenientes do contato direto do material restaurador e o dente antagonista, enquanto que, no mecanismo de desgaste em área livre de contato, este padrão não é seguido e ocorre pela ação da mastigação e escovação;
- o módulo de elasticidade de uma resina composta a ser usada em área de esforço contínuo é uma importante propriedade a ser considerada. Um material com menor módulo de elasticidade deformar-se-á mais sob a ação de forças oclusais e, em consequência, poderá ocorrer o aparecimento e propagação de microfraturas

internas em decorrência da fadiga do material;

- as propriedades são afetadas pela sorção de água, devido à sua ação plastificante e de agente de corrosão na interface matriz/partículas, promovendo uma degradação hidrolítica. A sorção de água aumenta o volume da matriz de resina.

Com o objetivo de investigar a deformação provocada por carga compressiva estática e dinâmica e a recuperação dessa deformação, em 1988, ODÉN; RUYTER; ØYSÆD³⁹, avaliaram oito resinas compostas para uso em dentes posteriores. Cinco eram fotopolimerizáveis e três polimerizadas quimicamente. Este estudo demonstrou que, durante a carga cíclica, a deformação até o fim do período de teste foi de magnitude comparável à deformação estática. A recuperação incompleta, o “creep” estático e a medida da recuperação, indicaram a deformação anelástica em todos os materiais investigados. Os resultados demonstraram dissipação da energia anelástica durante os ciclos, que diminuiu com aumento do número de ciclos. A água absorvida aumentou o “creep” e diminuiu a recuperação da deformação nos materiais, provavelmente por efeito plastificante. O mais alto valor do “creep” foi registrado nas resinas compostas de micropartículas. A curva do “creep” foi caracterizada por

uma deformação inicial rápida, seguida por uma estabilização. Durante a recuperação, houve uma recuperação inicial rápida, seguida também por uma etapa de estabilização na recuperação do “creep”. A deformação inicial foi elástica e reversível quando retirada a carga, enquanto a etapa de “creep” foi viscoelástica por ter uma parte viscosa que não é reversível quando removida essa carga.

Em 1988, COHEN; SCHULMAN¹² realizaram uma revisão e um estudo das perspectivas das resinas compostas. Os produtos estudados possuíam uma matriz orgânica à base de bisfenol A glicidil metacrilato ou uretano dimetacrilato, partículas inorgânicas e um agente de união entre as fases orgânica e inorgânica. O material composto para restaurações posteriores é constituído de micropartículas, partículas pequenas ou híbridas. Os possuidores de micropartículas apresentaram os mais altos valores de “creep”.

Em 1989, VON FRAUNHOFER; CURTIS JUNIOR⁵⁷, determinaram as propriedades físicas e mecânicas de dois materiais restauradores anteriores fotopolimerizáveis (Valux, Silar Plus) e um

material restaurador posterior fotopolimerizável (P-50) em comparação com uma resina composta convencional (Concise). O material com baixo conteúdo inorgânico (50%) e partículas pequenas (0,04 micrômetros) apresentou menor resistência mecânica, alta sorção de água e maior solubilidade que os materiais com maior conteúdo de carga. O composto anterior fotopolimerizável híbrido, com tamanho de partícula menor, apresentou sorção e comportamento de solubilidade comparáveis, mas a resistência à tração foi superior à do composto convencional. As propriedades superiores desse novo sistema fotopolimerizável resultaram da estrutura híbrida e do menor tamanho das partículas. As propriedades dos materiais são dependentes da composição da matriz de resina, conteúdo de partículas e tamanho das partículas.

KRAUSE; PARK; STRAUP²⁷, em 1989, determinaram a resistência compressiva, o módulo de elasticidade, resistência à fratura e a resistência à tração de um sistema experimental de resina Bis-GMA reforçada com fibras de vidro. Os testes mecânicos apresentaram valores mais altos na resistência compressiva e módulo de elasticidade quando houve aumento do conteúdo de partículas, enquanto a resistência à tração

diminuiu. Também foi mais alta a resistência à fratura com o aumento do conteúdo inorgânico até 50 e 60%, permanecendo constante depois. O tratamento das fibras de vidro com silano causou um aumento significativo nas propriedades mecânicas do material composto. Concluíram que um conteúdo de 50% de partículas e tratamento com silano das fibras proporcionaram melhores propriedades mecânicas e de manipulação.

Também em 1989, BRAEM et al.⁸ propuseram determinar uma curva de regressão para descrever a fração volumétrica das partículas das resinas compostas. Verificaram a dureza Wallace, o módulo de elasticidade (estático e dinâmico) e a resistência transversa de sete misturas experimentais, fotopolimerizáveis, com fração volumétrica de partículas variando de zero a 55,2%. A montagem de uma curva exponencial ordenada, para descrever as propriedades mecânicas, em relação à fração volumétrica das partículas, foi considerada, pois expressa a influência do aumento do componente inorgânico na resina composta. Foram montadas quatro curvas exponenciais que relacionaram a fração volumétrica das partículas às propriedades mecânicas citadas. Na

observação das curvas, observaram que o aumento do conteúdo volumétrico das partículas melhorou as propriedades mecânicas.

Ainda em 1989, o “creep” de resinas compostas quimicamente ativadas e ativadas por luz visível foi estudado por TABATA⁵¹, usando equipamento para ensaio transversal. Também a absorção de água dos materiais foi medida e o efeito da umidade sobre o comportamento de “creep” foi discutido. As propriedades de absorção de água da resina composta quimicamente ativada foram menores que nas resinas compostas fotoativadas. Porém, a deformação anterior aumentou notadamente em comparação com a das resinas fotopolimerizáveis. Esse resultado indica que o fenômeno pode derivar de diferenças nos aceleradores da reação das resinas compostas. Aumentos na quantidade de carga reduziu a deformação por tensão. Além disso, a velocidade de reação de ambos os tipos de resinas procedeu em período bastante longo.

O “creep” e a recuperação de amostras de cimento de ionômero de vidro foram estudados por PAPADOYANNIS et al.⁴³, nesse mesmo ano, usando um aparelho de “creep” por torção. O propósito foi

investigar o comportamento da viscoelasticidade sob baixa tensão, simulando uma condição de forças normais de mastigação. Pequena tensão (2,048 MPa), abaixo do limite proporcional da resina composta foi mantida por 3 horas e, após a aplicação desta tensão, a recuperação foi observada por 50 horas. As mensurações foram realizadas em espécimes armazenados: por 24 horas ao ar a 21°C, por 24 horas em água destilada a 37°C e por uma semana em água destilada a 37°C. As amostras de cimento de ionômero de vidro exibiram comportamento de viscoelasticidade linear às baixas deformações. Nenhum material recuperou sua forma original depois de 50 horas após ser removida a tensão. Os espécimes armazenados durante uma semana em água destilada a 37°C exibiram os menores valores de “creep” e de deformação permanente. A influência da desidratação foi percebida nas amostras armazenadas ao ar a 21°C, sendo os espécimes que exibiram o maior valor de “creep” e de deformação permanente.

Ainda em 1989, HIRANO; HIRASAWA²² verificaram o “creep” de amostras de uma resina composta após essas estarem imersas em água por 500 horas. A regressão linear foi obtida entre os níveis de

“creep” obtido sob força de compressão em diversos períodos - entre 30 a 50 horas, dentro do diagrama de tensão e logaritmo do tempo. Por meio dessa regressão linear, é possível prever que o menor valor de “creep” é conseguido quando o limite do equilíbrio de absorção de água é alcançado e, como verificado nessa pesquisa, em 500 horas.

O comportamento da fratura da resina BisGMA ocorrida durante o teste de dupla torção foi estudado por DAVIS; WATERS¹³, em 1989. O parâmetro da fratura foi medido pelo fator força/intensidade. A fratura ocorreu ou na forma de lasca (instável) ou de modo contínuo (estável), dependendo das condições do teste. Quando a propagação ocorreu na forma de lasca, a superfície da fratura apresentou características de uma linha rachada interrompida. As superfícies das fraturas foram examinadas através de um microscópio óptico de luz refletida. O fator tensão/intensidade da iniciação da rachadura foi analisado para ser relacionado com o tamanho da linha de rachadura interrompida, o qual, por sua vez, pôde ser relacionado ao modelo de “Dygdade” para o tamanho da zona plástica. A evidência suportada pelo conceito de que o comportamento das rachaduras durante a propagação

foi controlada pela quantidade de deformação plástica que ocorreu na extremidade da rachadura.

CHUNG¹⁰, em 1990, desenvolveu um estudo para determinar a relação entre a composição e as propriedades de resinas compostas posteriores. O grau de conversão de resinas compostas variou de 43,5% para 73,8%. A fração de volume das partículas variou de 58,2% para 74,2%. As alterações na resistência à tração diametral e dureza Knoop obtidas foram de 39,8MPa para 60MPa e 41,8MPa para 81,9MPa, respectivamente. Significante correlação foi verificada entre a fração de partículas e a resistência à tração diametral e entre a fração de partículas e o número de dureza Knoop (NDK). O aumento na resistência devido ao aumento da concentração das partículas pode ser relacionado com a união carga/matriz. Utilizando sistemas de resinas baseados no BisGMA e UDMA para a matriz resinosa, o autor afirmou que os fabricantes colocaram suas resinas compostas no contexto das propriedades físicas descritas.

PHILLIPS⁴⁴, em 1991, atualiza os conceitos, as composições, revisa sobre as propriedades, as técnicas de manipulação e indicações dos

materiais odontológicos. Este livro é composto por trinta capítulos, porém é no terceiro que se pode verificar as definições das propriedades, principalmente sobre o “creep”. É no décimo segundo capítulo que discute sobre as resinas para restauração, inclusive estão as resinas compostas.

SANG et al.⁴⁸, em 1992, mediram o índice de “creep” das resinas compostas posteriores fotopolimerizáveis P-50, Herculite e Heliomolar. As amostras foram armazenadas em água a 37°C por um período de uma semana e o teste de “creep” realizado por um período de 20 horas, aplicando uma carga compressiva de 36MPa. O “creep” inicial ocorreu em todas as resinas compostas na condição úmida para as 5-6 horas iniciais, seguido pelo “creep” secundário. O índice de “creep” no estágio 1 foi mais alto do que aquele para o estágio 2.

O “creep” e a recuperação de espécimes resinas compostas armazenados em água foram examinados por HIRANO; HIRASAWA²³, em 1992. A recuperação nas resinas compostas, após 500 horas de teste, foi linearmente diminuído com relação ao aumento do conteúdo de

partículas inorgânicas em cada produto comercial. A sorção de água durante o teste diminuiu com o aumento da aplicação da carga naquelas amostras de resinas compostas com baixos conteúdos de partículas inorgânicas. Nos espécimes de resinas compostas de alto conteúdo de partículas inorgânicas, a sorção de água foi quase constante para alguns níveis de tensão. A recuperação das resinas compostas depois do teste foi imediatamente após. No teste de sorção de água das resinas compostas, as micro-fendas ou rachaduras poderiam ter ocorrido na interface partícula inorgânica/matriz orgânicas e, durante o teste de “creep”, a água poderia ter se difundido nessas micro-fendas e rachaduras em condições atômicas; isso explicaria o aumento de água absorvida pelas amostras no período de recuperação.

Resinas compostas (Adaptic II A, Heliomolar, Herculite XR esmalte, P 50 e Superlux esmalte), foram submetidas, por DOMENE¹⁵, em 1993, a um teste de abrasão, *in vitro*, por meio de escovação simulada, com o objetivo de analisar comparativamente a perda de massa e a rugosidade superficial após o término da escovação. Obtidos os resultados, verificou haver, quanto à perda de massa, diferença

estatisticamente significativa entre os materiais, salvo entre o Superlux esmalte e o Heliomolar; quanto à rugosidade superficial, excetuando o Adaptic II A, com significativa maior rugosidade superficial, os valores apresentaram-se semelhantes. Esses dados sofreram a influência da diferença na composição dos produtos analisados, sendo importante a verificação desse fator como também influente nos resultados observados.

Já em 1994, HIRANO; HIRASAWA²⁴ estudaram o “creep” compressivo e a recuperação elástica de algumas resinas compostas existentes no mercado, sendo dois tipos para uso em dentes anteriores e dois para posteriores, após imersão, da amostra, em água. As resinas empregadas em restaurações de dentes posteriores apresentaram, após 500 horas sob um estresse de 8,3Kgf/mm², valores de “creep” significativamente menores (aproximadamente 1%). Os resultados do teste de “creep” compressivo mostraram que as resinas compostas para posteriores são mais resistentes ao estresse oclusal. O “creep” obtido nas resinas compostas para anteriores foi maior do que para as posteriores, devido a seu menor conteúdo de carga inorgânica. A velocidade de

recuperação das resinas compostas foi rápida, imediatamente após o teste de “creep”.

Ainda em 1994, MAIA; NAGEM FILHO³³ demonstraram, por meio de ensaios mecânicos, a deformação permanente de quatro marcas comerciais de resinas compostas fotopolimerizáveis, submetendo, cada amostra, a baixas tensões em diferentes tempos. Na avaliação dos valores do “creep” estático verificou-se que a deformação permanente aumentou em função do tempo, mas com redução acentuada entre as primeiras 24 horas e 1 semana.

Nove materiais compostos, nos quais, as matrizes são resinas à base de polimetil metacrilato e reforçadas com fibras de polimetil metacrilato de alta resistência e alta ductibilidade foram estudados em 1995, por GILBERT; NEY; LAUTENSCHLAGER²⁰. Dois tamanhos de fibras (40µm e 120µm de diâmetro) foram utilizados para sintetizar os materiais que apresentaram diferenças em suas propriedades mecânicas. Foram realizados testes de resistência à tração, resistência flexural a três pontos, tolerância à fratura e fadiga. Para comparação, utilizou-se de algumas marcas comerciais de resinas compostas à base de polimetil

metacrilato e também de cimento ósseo. Em todos os testes realizados, esses materiais experimentais apresentaram valores superiores aos usados como comparação, sendo então indicados para aplicações médicas e odontológicas.

WAKASA; YAMAKI; MATSUI⁵⁸, em 1995, elaboraram um trabalho de pesquisa com o objetivo de determinar a força de tensão pelo teste de cisalhamento e a deformação durante o teste de nano-denteação, na área e local de união de copolimerização da resina composta com o sistema de união da dentina. Primeiro foi calculada a força de tensão na área de união entre a dentina bovina e a resina composta, depois foi calculado o tamanho da área de deformação plástica, usando um modelo da região elástico/deformação plástica após o teste de nano-denteação. Os resultados mostraram claramente, que a média da tensão dependia da elasticidade da área de união, do valor da elasticidade da resina na relação resina/área de união e da tensão na interface entre a dentina e o adesivo. Nesta área de união, a relação elasticidade/deformação sofreu uma variação, dependendo da espessura da área de união, como também do tamanho da região da deformação plástica (b), expressada como $b/2a$

(o valor 2a representa o comprimento do triângulo no teste de nano-denteação) expandida com o valor da elasticidade.

LEINFELDER³¹, em 1997, descreve o desenvolvimento das formulações de polímeros desde a sua introdução na odontologia, na metade dos anos 50, destacando os esforços realizados com o objetivo de melhorar as propriedades, principalmente quanto à resistência ao desgaste, desses materiais. O autor discute os avanços alcançados e propõe uma possível substituição do amálgama, baseado nessa nova tecnologia.

DENG; SHALABY¹⁴, em 1997, avaliaram as propriedades físicas de uma resina composta de polietileno reforçada por fibras de polietileno de ultra-alto peso molecular. Verificaram que a incorporação dessas fibras aumentou significativamente a resistência à tração, o módulo de elasticidade e o “creep”. A resistência à tração longitudinal desse composto aumentava de acordo com a quantidade de fibras incorporadas à matriz. A resistência transversal não variava quando o conteúdo de fibra era 7% ou maior. A superfície transversa das superfícies fraturadas

foram observadas em microscópio eletrônico de varredura. Os resultados indicaram que estas resinas compostas de polietileno reforçadas com fibras de polietileno de ultra-alto peso molecular poderiam ser utilizados para aplicação, no limite de carga, na área de Biomédicas onde se exigem cargas.

O objetivo da investigação desenvolvida por KILDAL; RUYTER²⁶, em 1997, foi avaliar as diferenças nas propriedades mecânicas de três resinas compostas, em relação às técnicas de polimerização (intraoral e extraoral), em restaurações diretas e indiretas (inlay) e como essas propriedades são afetadas pela sorção de água. As características de “creep” por compressão como também a relação de tensão/deformação a uma carga constante foram determinadas em ensaios de flexão. Um propósito secundário foi investigar a influência do conteúdo de carga e a composição do monômero nas propriedades mecânicas. Os resultados foram apresentados como curvas de “creep” e como valores para módulo elástico, resistência final e deformação permanente. Os materiais foram polimerizados por dois métodos: •Método A: empregando uma luz emitida por unidade fotopolimerizadora; •Método B: utilizando fornos

que polimerizam por luz. A sorção de água aumentou os valores de ‘creep’ para todos os tipos de espécimes. Os polimerizados em fornos (método B), apresentaram valores de “creep” mais baixos quando sob tensões mais altas do quando comparados com os polimerizados com luz emitida por unidade fotopolimerizadores (método A). A sorção de água diminuiu o módulo elástico e a resistência final para os espécimes polimerizados pelo método A. Os valores de resistência final obtidos nos espécimes secos e nos armazenados em água, polimerizados pelo método B ,também foram diferentes. Não houve nenhuma diferença geral nas propriedades compressiva e flexural entre as amostras obtidas pelo método A ou B.

A viscoelasticidade e o armazenamento das resinas compostas dentais foram avaliados por BOYER et al.⁷, em 1998. O efeito do armazenamento sobre várias resinas compostas foi estudado usando um aparelho para “creep” por torção. Um torque constante era aplicado de 1 segundo até 3 horas e a recuperação observada de 10 segundos à 2 dias, em espécimes anteriormente confeccionados (de 3 horas a 8 semanas).Espécimes mais recentes exibiram “creep” e recuperação menos

completa quando comparados com os espécimes confeccionados à mais tempo. Os resultados de módulo e “creep” foram qualitativamente consistentes com uma resina composta padrão para restauração específica.

A resistência ao desgaste de uma resina composta experimental (Ormocer), possuidora de um novo sistema de matriz foi avaliado por KUNZELMANN; MEHL; HICKEL²⁸, em 1998 e comparado com resinas compostas comercializados (Estilux Hybrid, Pertac II, Tetric, Tetric Ceram, Tetric flow, Z100, TPH Spectrum Degufill Ultra, Degufill mineral, Degufill SC micro hybrid, Charisma Solitaire, Heliomolar RO, Metafill CX, Durafill VS). Após confecção de oito espécimes para cada produto estudado, estes foram armazenados em solução Ringer a 37°C por 24 horas. Aplicou-se então uma carga vertical de 50 N, sendo realizada uma excursão horizontal de 8 mm do antagonista. Analisados em um scanner a laser de três dimensões, os autores observaram que as resinas compostas microparticuladas apresentaram a menor resistência ao desgaste. O Tetric flow não se diferiu significativamente do Tetric Ceram porque é o mesmo sistema de matriz somente acrescida de 10% em peso

de carga. O Ormocer experimental comportou-se inferiormente as resinas compostas híbridos possuidores da mesma quantidade de carga inorgânica. O sistema inorgânico teve uma extrema influência sobre as propriedades de desgaste, especialmente a proporção, o tamanho e o volume das partículas. Ressaltam que, infelizmente, na maioria dos produtos, não há informações quanto ao tamanho médio dessas partículas.

MARIA³⁵, em 1998, determinou a deformação permanente de cinco resinas compostas fotopolimerizáveis, sob carga compressiva constante. Espécimes confeccionados com cada resina composta (Charisma, Solitaire, Tetric, TPH e Z100) foram imersas em água, à temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$ e submetidas a uma carga compressiva constante de 36 MPa, por períodos de 15 minutos, 1 hora e 24 horas. Os dados obtidos apresentaram valores quantitativos do “creep” e a análise estatística dos Perfis Médios demonstrou resultados semelhantes para as resinas Charisma, Tetric e TPH e diferentes para a Z100 e a Solitaire, respectivamente em ordem decrescente. Esses valores se justificam em função da diferente composição das resinas compostas em relação à sua

matriz resinosa e à concentração, tipo e quantidade de partículas inorgânicas e período de aplicação da carga no ensaio.

Livro escrito por ANUSAVICE¹, em 1998, discute didaticamente os materiais dentários, sendo que, os capítulos três e quatro dessa décima edição, versa as propriedades físicas e mecânicas desses. No capítulo três estão o conceito e a descrição de “creep”.

Também em 1998, há o lançamento de livro escrito por CHAIN; BARATIERI⁹, referindo sobre restaurações estéticas com resina composta em dentes posteriores. Apresentam a evolução, conceito, classificação de determinadas marcas comerciais de resinas compostas, além de algumas propriedades e técnicas restaurativas, tanto em procedimentos diretos como em indiretos.

NAGEM FILHO³⁸, autor de livro editado em 1999, apresenta a história e evolução das resinas compostas, dissertando detalhadamente sobre os componentes integrantes da maioria das resinas compostas usados atualmente pelos profissionais, além de também se ater sobre as propriedades desses.

3 - PROPOSIÇÃO

3 - PROPOSIÇÃO

Este trabalho foi proposto com o objetivo de determinar essa propriedade em alguns produtos comerciais, em decorrência da deformação permanente, por meio de testes laboratoriais relacionados com o fator estudado.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4 - MATERIAL E MÉTODOS

Selecionou-se cinco resinas compostas híbridas fotopolimerizáveis, comumente empregadas, pelos cirurgiões-dentistas, como material restaurador estético.

Confeccionou-se dez corpos-de-prova com cada produto comercial à partir de uma matriz de teflon. Após polimerização complementar, as superfícies (superior e inferior) de cada espécime foram regularizadas e seu comprimento mensurado, por meio de um micrômetro. A amostra, colocada em recipiente metálico contendo água, foi levada à máquina para ensaio de resistência à compressão, localizada no interior de uma estufa com temperatura controlada de $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ^{33, 35}.

Foi aplicada então, uma carga de 36 MPa, verificando-se a deformação provocada, sem a remoção da carga, em períodos determinados (15 minutos, 1 hora e 24 horas) e anotando-se os

valores registrados^{33, 35}, que posteriormente foram submetidos à análise estatística para comparações individuais caso haja significância entre os dados obtidos e, assim, permitirem conclusões.

• MATERIAL

Os cinco produtos selecionadas para a realização deste trabalho são polimerizáveis por luz visível (Figura 1) e apresentam, na sua composição, além dos componentes básicos propostos por BOWEN, a canforoquinona fotossensível e uma amina redutora da canforoquinona*.

A mesma cor A₂ (A₂₀) foi utilizada para todas as resinas compostas estudadas, para uma possível padronização no índice de conversão dos monômeros e não interferência nos resultados obtidos, após o ensaio de deformação compressiva.

* Segundo perfil técnico dos fabricantes dos produtos comerciais estudados.

FIGURA 1 - Marcas comerciais das resinas compostas fotopolimerizáveis analisadas

Informações fornecidas pelos fabricantes dos produtos comerciais estudados que possuem interesse nesta pesquisa podem ser vistas na Tabela 1.

TABELA 1 - Características de interesse para este trabalho de pesquisa das marcas comerciais selecionadas

MARCA COMERCIAL	FABRICANTE	TIPO DE CARGA	% (em peso) DE CARGA
ALERT	Jeneric®/Pentron®	Vidro de borosilicato de bário + sílica + dióxido de silício + óxido de magnésio + óxido de alumínio + óxido de ferro (pigmento)*	84 *
CHARISMA F	Heraeus/KULZER	Vidro de bário-alumínio fluoretado + dióxido de silício em elevada dispersão*	76 *
HELIOMOLAR RADIOPAQUE	Vivadent	Trifluoreto de itérbio + sílica coloidal dispersa + sílica coloidal aglutinada ¹⁵	80 ¹⁵
SOLITAIRE	Heraeus/KULZER	Boro silicato de flúor-bário-alumínio + sílica coloidal pirogênica + sílica coloidal porosa + silicato de fluoralumínio + fluoretos*	65 *
TETRIC CERAM	Vivadent	Vidro de bário + trifluoreto de itérbio + Fluorsilicato de bário-alumínio + dióxido de silício em elevada dispersão + mistura de óxidos esferoidais*	80 *

* Os tipos e porcentagem (em peso) de partículas inorgânicas estão descritas nas bulas, ou prospecto de cada resina composta, de acordo com seu fabricante.

• MÉTODOS

* Obtenção das amostras

Uma matriz em teflon, com um orifício cilíndrico central, medindo 8,0 milímetros de altura por 4,0 milímetros de diâmetro (Figura 2) foi utilizada para confecção dos corpos-de-prova.

Cada corpo-de-prova foi obtido, por inserção da resina composta, em camadas, de 2,0 a 3,0 milímetros, nesta matriz, previamente lubrificada e que se encontrava apoiada sobre uma placa de vidro à temperatura ambiente em $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Após a inserção da primeira camada de resina na matriz, a luz do fotopolimerizador Optilight II (Gnatus) foi aplicada durante 20 segundos. Seqüencialmente, adicionou-se a segunda camada à primeira e polimerizou-a também por 20 segundos. Inserida a terceira e última camada, por meio de uma lamínula de vidro, fez-se uma suave compressão sobre o material adicionado e fotopolimerizou-se durante 20 segundos (Figura 3), perfazendo um total de 60 segundos de fotopolimerização.

FIGURA 2 - Matriz de teflon empregada para a confecção dos espécimes de resina composta fotopolimerizável

FIGURA 3 - Ponta ativa da unidade fotopolimerizadora Optilight II (Gnatus), em posição para polimerização da resina composta inserida no interior da matriz de teflon

A amostra de resina polimerizada foi removida do interior da matriz de teflon e uma fotopolimerização complementar foi realizada: a luz aplicada, paralelamente ao longo eixo do corpo-de-prova, por 30 segundos em sua superfície superior (Figura 4), em seguida, também paralelamente e por mais 30 segundos, mas na superfície inferior da amostra. Então, aplicou-se o feixe luminoso perpendicularmente ao longo eixo do corpo-de-prova, por mais 30 segundos em cada lado do espécime (Figura 5).

FIGURA 4 - Fotopolimerização complementar paralela ao longo eixo do corpo-de-prova

FIGURA 5 - Fotopolimerização complementar perpendicular ao longo eixo do corpo-de-prova

O tempo total de fotopolimerização para cada amostra foi de 180 segundos, sendo 60 segundos quando esta se encontrava no interior da matriz, mais 60 segundos, paralelamente ao longo eixo e os 60 segundos restantes, perpendicularmente ao longo eixo do espécime.

Após o término da polimerização total, as superfícies extremas dos espécimes foram regularizadas com lixa de granulação nº 600 para torná-las lisas, planas e paralelas entre si, estando o espécime pronto para ser medido e levando à máquina de compressão (Figura 6).

FIGURA 6 - Corpo-de-prova imediatamente após polimerização completa e remoção das irregularidades superficiais

Por meio de um micrômetro digital (marca Mitutoyo) mediu-se o comprimento inicial do corpo-de-prova (Figura 7), sendo esse valor devidamente registrado.

FIGURA 7 - Medida do comprimento de um espécime confeccionado com um dos produtos comerciais selecionados

O espécime foi levado à máquina de ensaios, que se situava no interior de uma estufa, com temperatura controlada, para a determinação da deformação compressiva.

Determinação do “creep”

O teste para determinar o “creep” do corpo-de-prova foi realizado em uma máquina para ensaio de compressão, sob a aplicação de carga constante, localizada no interior de uma estufa a $37 \pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 8). A carga compressiva aplicada foi de 36MPa.

FIGURA 8 - Máquina utilizada para a realização do ensaio de “creep”, localizada no interior de uma estufa a $37 \pm 1^\circ\text{C}$

Terminada a polimerização, realizado o aplainamento das extremidades e medido o comprimento inicial, o corpo-de-prova, adaptado ao recipiente metálico contendo água, foi colocado em posição, na plataforma da máquina de compressão. Em seguida, a carga compressiva de 36MPa foi liberada, suavemente, por meio de uma alavanca, sobre o corpo-de-prova e o manômetro (relógio comparador) do aparelho, regulado no ponto 0 (zero) (Figura 9).

FIGURA 9 - Detalhe da ilustração anterior onde pode-se observar o mecanismo utilizado para determinar o “creep” do espécime de resina composta fotopolimerizável, sob carga e o manômetro do aparelho, regulado no ponto 0 (zero)

A leitura dos valores averiguados nesse manômetro, com precisão de 0,001mm (1µm), após os períodos de 15 minutos, 1 hora e 24 horas de aplicação constante da carga compressiva em cada amostra foi registrada, em fichas apropriadas, como a deformação promovida.

A remoção da carga, foi efetuada pela elevação da alavanca, 24 horas após a aplicação da mesma.

Os dados obtidos, devidamente anotados, foram utilizados no cálculo do índice do “creep estático”, por meio da fórmula:

$$\% \text{ do “creep”} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100, \text{ onde:}$$

l_0 = média do comprimento inicial das amostras;

l_1 = média do comprimento final das amostras no período de 15 minutos de aplicação da carga e, pode ser substituído por l_2 ou l_3 dependendo do período de tempo estudado (1 hora ou 24 horas respectivamente).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando uma força externa, denominada como *carga*, age sobre um corpo sólido, uma força interna, chamada de *tensão*, deste corpo reagirá em igual magnitude e em direção contrária àquela força externa. Sempre que uma tensão esteja presente existirá como consequência uma deformação que pode ser tanto elástica como plástica ou permanente^{1, 32, 34, 35, 38, 44, 55, 56}. Uma pressão inferior ao limite de proporcionalidade, produz uma deformação elástica⁵⁶. Isto quer dizer que, uma vez retirada a carga, as dimensões do corpo devem coincidir com as dimensões originais. Porém, muitos materiais, tais como as resinas compostas, após a remoção da carga, mantêm uma deformação residual, denominada permanente^{1, 35, 38, 55, 56}. Esta deformação não coincide com um comportamento elástico, que se preconiza ter a resina composta, mas seu desempenho é como o de um material viscoso, pois deforma-se permanente e progressivamente em função do tempo de aplicação da carga e não em função do aumento desta^{34, 44}.

As resinas compostas, mesmo com baixas cargas, podem sofrer deformações, dependendo do período de tempo da aplicação da carga, e esse fenômeno ocorre devido ser as resinas compostas, materiais

viscoelásticos, pois possuem uma “performance” parcialmente elástica e parcialmente viscosa⁴⁴.

A viscoelasticidade das resinas compostas está relacionada com a carga exercida e está em função do tempo de aplicação dessa^{42, 44}. E, sendo “creep” um processo em que o material, quando sujeito a uma pressão de carga, sofre uma alteração, em comprimento⁴⁴. Esta é, portanto, uma propriedade extremamente importante para se conhecer e selecionar a resina composta de melhor qualidade, almejanda por sua performance clínica.

Por ser a resina, um material não cristalino, este tipo de deformação ocorre mesmo em temperatura baixa. Portanto, em virtude deste material apresentar uma deformação residual em baixas cargas e temperaturas, empregou-se, neste experimento, uma carga de pressão constante de 36MPa^{17, 33, 35, 48}, correspondente à força mastigatória e uma temperatura de $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$, semelhante à da cavidade bucal, conseqüentemente, a alteração no comprimento dos corpos-de-prova é resultado da variabilidade do tempo durante o qual a força foi mantida.

As mensurações iniciais dos espécimes de cada material estudado encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2 - Valores dos comprimentos iniciais (em mm) das amostras dos produtos analisados

RESINAS COMPOSTAS HÍBRIDAS FOTOPOLIMERIZÁVEIS ESTUDADAS				
ALERT	CHARISMA F	HELIOMOLAR RADIOPAQUE	SOLITAIRE	TETRIC CERAM
7,997	8,000	8,000	7,899	7,588
8,000	7,793	7,895	7,907	7,596
7,989	7,599	7,993	8,000	7,630
7,985	7,678	7,987	7,976	7,655
7,993	7,864	7,598	7,887	7,907
8,000	7,725	7,820	8,000	7,779
8,000	7,899	7,796	7,983	7,766
7,991	7,655	7,788	7,992	7,863
7,986	7,579	7,699	7,896	7,589
8,000	7,588	7,848	7,991	7,610

Realizados os ensaios de “creep”, nos tempos de 15 minutos, 1 hora e 24 horas, as amostras de cada material apresentaram variações de comprimento que foram registradas e transferidas para as Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7.

TABELA 3 - Comprimentos finais (em mm) das amostras da resina composta ALERT (JENERIC®/PENTRON®), após carga (36MPa) aplicada por tempos pré-determinados

AMOSTRA	PERÍODOS ANALISADOS		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	7,957	7,952	7,942
2 ^a	7,965	7,955	7,940
3 ^a	7,949	7,934	7,924
4 ^a	7,948	7,940	7,930
5 ^a	7,957	7,948	7,938
6 ^a	7,960	7,945	7,935
7 ^a	7,961	7,950	7,940
8 ^a	7,951	7,936	7,926
9 ^a	7,938	7,931	7,926
10 ^a	7,960	7,955	7,945

TABELA 4 - Comprimentos finais (em mm) das amostras da resina composta CHARISMA F (HERAEUS/KULZER), após carga (36MPa) aplicada por tempos pré-determinados

AMOSTRA	PERÍODOS ANALISADOS		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	7,955	7,940	7,910
2 ^a	7,733	7,718	7,703
3 ^a	7,529	7,509	7,479
4 ^a	7,618	7,603	7,578
5 ^a	7,814	7,789	7,769
6 ^a	7,680	7,665	7,635
7 ^a	7,839	7,821	7,809
8 ^a	7,585	7,565	7,535
9 ^a	7,519	7,504	7,479
10 ^a	7,538	7,513	7,493

TABELA 5 - Comprimentos finais (em mm) das amostras da resina composta HELIOMOLAR RADIOPAQUE (VIVADENT), após carga (36MPa) aplicada por tempos pré-determinados

AMOSTRA	PERÍODOS ANALISADOS		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	7,920	7,880	7,830
2 ^a	7,815	7,745	7,715
3 ^a	7,925	7,893	7,823
4 ^a	7,883	7,847	7,765
5 ^a	7,530	7,498	7,418
6 ^a	7,740	7,700	7,630
7 ^a	7,716	7,646	7,616
8 ^a	7,720	7,688	7,608
9 ^a	7,631	7,599	7,509
10 ^a	7,744	7,708	7,648

TABELA 6 - Comprimentos finais (em mm) das amostras da resina composta SOLITAIRE (HERAEUS/KULZER), após carga (36MPa) aplicada por tempos pré-determinados

AMOSTRA	PERÍODOS ANALISADOS		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	7,852	7,839	7,814
2 ^a	7,852	7,837	7,787
3 ^a	7,940	7,930	7,910
4 ^a	7,926	7,918	7,901
5 ^a	7,842	7,829	7,797
6 ^a	7,942	7,927	7,895
7 ^a	7,923	7,913	7,893
8 ^a	7,935	7,924	7,824
9 ^a	7,847	7,836	7,801
10 ^a	7,936	7,922	7,903

TABELA 7 - Comprimentos finais (em mm) das amostras da resina composta TETRIC CERAM (VIVADENT), após carga (36MPa) aplicada por tempos pré-determinados

AMOSTRA	PERÍODOS ANALISADOS		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	7,508	7,488	7,448
2 ^a	7,521	7,496	7,456
3 ^a	7,570	7,535	7,490
4 ^a	7,597	7,570	7,520
5 ^a	7,852	7,817	7,767
6 ^a	7,721	7,694	7,641
7 ^a	7,696	7,671	7,626
8 ^a	7,783	7,763	7,723
9 ^a	7,514	7,499	7,454
10 ^a	7,545	7,520	7,473

A variação nos comprimentos dos corpos-de-prova, em milímetros, indica a deformação permanente nas resinas compostas, decorrente da carga aplicada durante os períodos de tempo determinados (Tabela 8).

TABELA 8 - Médias dos comprimentos (mm) e desvios-padrão das diferentes resinas, durante os diversos períodos de avaliação

MATERIAL	PERÍODO DE AVALIAÇÃO			
	Comprimento inicial (l_0)	Aos 15 minutos (l_1)	Em 1 hora (l_2)	Em 24 horas (l_3)
ALERT	$7,9941 \pm 0,0061$	$7,9546 \pm 0,0080$	$7,9446 \pm 0,0088$	$7,9346 \pm 0,0075$
CHARISMA F	$7,7380 \pm 0,1458$	$7,6810 \pm 0,1503$	$7,6627 \pm 0,1510$	$7,6390 \pm 0,1529$
HELIOMOLAR RADIOPAQU	$7,8424 \pm 0,1321$	$7,7624 \pm 0,1268$	$7,7204 \pm 0,1262$	$7,6562 \pm 0,1318$
SOLITAIRE	$7,9531 \pm 0,0488$	$7,8995 \pm 0,0446$	$7,8875 \pm 0,0453$	$7,8525 \pm 0,0516$
TETRIC CERAM	$7,6983 \pm 0,1121$	$7,6307 \pm 0,1612$	$7,6053 \pm 0,1213$	$7,5598 \pm 0,1197$

A Figura 10 demonstra, ilustrativamente, a análise das marcas comerciais nos períodos observados.

FIGURA 10 - Resultados médios (em mm) do comprimento inicial e final nos períodos observados das diversas resinas compostas avaliados

Como observado na Tabela 8 e, ilustrativamente visualizado na Figura 10, o tempo é um dos fatores importantes na resultante do “creep estático” e influencia diretamente na deformação do corpo-de-prova para todas as marcas comerciais de resinas compostas estudadas. Se, a temperatura e a carga forem constantes, como neste experimento, quanto maior for o período de tempo de aplicação da carga, maior será a deformação permanente presente no corpo-de-prova.

A diferença dos valores individuais entre o tamanho inicial do corpo-de-prova (l_0) e o comprimento deste no período de 15 minutos (l_1), 1 hora (l_2) e 24 horas (l_3) após a aplicação constante da carga (36MPa), representa o estado de deformação permanente de cada espécime, em comprimento linear (mm). Quando esta diferença é dividida pelo tamanho da amostra inicial (l_0) e multiplicada por 100, o valor de “creep” é dado em porcentagem (%) (Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13).

TABELA 9 - Valor de “creep estático”, média (em %) e desvio-padrão da resina ALERT (JENERIC®/PENTRON®), nos diferentes períodos analisados

AMOSTRA	“CREEP ESTÁTICO” (em %) EM RELAÇÃO AO TEMPO		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	0,500	0,563	0,688
2 ^a	0,437	0,562	0,750
3 ^a	0,500	0,688	0,814
4 ^a	0,463	0,564	0,689
5 ^a	0,450	0,563	0,688
6 ^a	0,500	0,687	0,813
7 ^a	0,487	0,625	0,750
8 ^a	0,500	0,688	0,813
9 ^a	0,758	0,845	0,908
10 ^a	0,500	0,563	0,687
MÉDIA	0,5095	0,6348	0,7600
DESVIO-PADRÃO	0,08583	0,088568	0,071677

TABELA 10 - Valor de “creep estático”, média (em %) e desvio-padrão da resina CHARISMA F (HERAEUS/KULZER), nos diferentes períodos analisados

AMOSTRA	“CREEP ESTÁTICO” (em %) EM RELAÇÃO AO TEMPO		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	0,563	0,750	1,125
2 ^a	0,770	0,962	1,155
3 ^a	0,921	1,184	1,579
4 ^a	0,871	0,977	1,302
5 ^a	0,636	0,954	1,208
6 ^a	0,583	0,777	1,165
7 ^a	0,760	0,987	1,139
8 ^a	0,914	1,176	1,568
9 ^a	0,792	0,989	1,319
10 ^a	0,659	0,988	1,252
MÉDIA	0,7469	0,9744	1,2812
DESVIO-PADRÃO	0,125332	0,132299	0,159078

TABELA 11 - Valor de “creep estático”, média (em %) e desvio-padrão da resina HELIOMOLAR RADIOPAQUE (VIVADENT), nos diferentes períodos analisados

AMOSTRA	“CREEP ESTÁTICO” (em %) EM RELAÇÃO AO TEMPO		
	aos 15 min.	em 1 hora	em 24 horas
1 ^a	1,000	1,500	2,125
2 ^a	1,013	1,900	2,280
3 ^a	0,851	1,251	2,127
4 ^a	1,302	1,753	2,780
5 ^a	0,895	1,316	2,369
6 ^a	1,023	1,535	2,430
7 ^a	1,026	1,924	2,309
8 ^a	0,874	1,284	2,311
9 ^a	0,883	1,299	2,468
10 ^a	1,325	1,784	2,548
MÉDIA	1,0192	1,5546	2,3747
DESVIO-PADRÃO	0,160408	0,252739	0,186318

TABELA 12 - Valor de “creep estático”, média (em %) e desvio-padrão da resina SOLITAIRE (HERAEUS/KULZER), nos diferentes períodos analisados

AMOSTRA	“CREEP ESTÁTICO” (em %) EM RELAÇÃO AO TEMPO		
	AOS 15 min.	EM 1 hora	EM 24 horas
1 ^a	0,595	0,760	1,076
2 ^a	0,696	0,885	1,518
3 ^a	0,750	0,875	1,125
4 ^a	0,627	0,727	0,940
5 ^a	0,571	0,735	1,141
6 ^a	0,725	0,912	1,312
7 ^a	0,752	0,877	1,127
8 ^a	0,713	0,851	2,102
9 ^a	0,621	0,760	1,203
10 ^a	0,688	0,863	1,101
MÉDIA	0,6738	0,8245	1,2645
DESVIO-PADRÃO	0,62072	0,066817	0,315102

TABELA 13 - Valor de “creep estático”, média (em %) e desvio-padrão da resina TETRIC CERAM (VIVADENT), nos diferentes períodos analisados

AMOSTRA	“CREEP ESTÁTICO” (em %) EM RELAÇÃO AO TEMPO		
	AOS 15 min.	EM 1 hora	EM 24 horas
1 ^a	1,054	1,318	1,845
2 ^a	0,987	1,316	1,843
3 ^a	0,786	1,245	1,835
4 ^a	0,758	1,110	1,764
5 ^a	0,696	1,138	1,771
6 ^a	0,746	1,093	1,774
7 ^a	0,901	1,223	1,803
8 ^a	1,017	1,271	1,780
9 ^a	0,988	1,185	1,778
10 ^a	0,854	1,183	1,800
MÉDIA	0,8787	1,2082	1,7993
DESVIO-PADRÃO	0,12198	0,076295	0,029665

Todas as resinas compostas analisadas neste experimento sofreram uma variação de comprimento, como deformação permanente, em todos os períodos estudados (Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13), podendo-se melhor visualizar, na Tabela 14, onde se encontram as respectivas médias (em %) e os desvios-padrão.

TABELA 14 - Valores das médias do “creep estático” (em %) e desvios-padrão das resinas compostas estudadas, nos diferentes períodos analisados

MATERIAL	PERÍODO DE AVALIAÇÃO		
	aos 15 minutos	em 1 hora	em 24 horas
ALERT	0,5095 (0,085830)	0,6348 (0,088568)	0,7600 (0,071677)
CHARISMA F	0,7469 (0,125332)	0,9744 (0,132299)	1,2812 (0,159078)
HELIOMOLAR RADIOPAQUE	1,0192 (0,160408)	1,5546 (0,252739)	2,3747 (0,186318)
SOLITAIRE	0,6738 (0,620272)	0,8245 (0,066817)	1,2645 (0,315302)
TETRIC CERAM	0,8787 (0,12198)	1,2082 (0,076295)	1,7993 (0,029665)

Pode-se verificar que houve uma tendência de aumento das diferenças entre o comprimento original e os demais períodos observados, para todos os produtos. Com isto, pode-se deduzir que, independentemente da composição da resina composta, esta sofreu uma alteração em sua dimensão linear, demonstrando ocorrer esse fenômeno no estado viscoso. Para uma melhor visualização, determinou-se a diferença, em centímetros, entre o comprimento inicial de cada amostra (l_0) para cada marca comercial e o comprimento final (l_1 , l_2 , l_3) em cada

período analisado (15 minutos, 1 horas e 24 horas), sob temperatura e carga estabelecidos (Tabela 15), estando também visulizados os desvios-padrão.

TABELA 15 - Médias (em mm) e desvios-padrão obtidos pela diferença entre os comprimentos das amostras das resinas compostas estudadas, nos diferentes períodos observados

MATERIAL	PERÍODO OBSERVADO	MÉDIA (X)	DESVIO- PADRÃO (DP)
Alert	Comp.inicial-Comp. aos 15 minutos	0,0395	0,0072
	Comp.inicial-Comp. em 1 hora	0,0495	0,0075
	Comp.inicial-Comp. em 24 horas	0,0595	0,0061
Charisma F	Comp.inicial-Comp. aos 15 minutos	0,0570	0,0092
	Comp.inicial-Comp. em 1 hora	0,0753	0,0100
	Comp.inicial-Comp. em 24 horas	0,0990	0,0117
Heliomolar Radiopaque	Comp.inicial-Comp. aos 15 minutos	0,0800	0,0138
	Comp.inicial-Comp. em 1 hora	0,1220	0,0215
	Comp.inicial-Comp. em 24 horas	0,1862	0,0156
Solitaire	Comp.inicial-Comp. aos 15 minutos	0,0536	0,0055
	Comp.inicial-Comp. em 1 hora	0,0656	0,0058
	Comp.inicial-Comp. em 24 horas	0,1006	0,0266
Tetric Ceram	Comp.inicial-Comp. aos 15 minutos	0,0676	0,0096
	Comp.inicial-Comp. em 1 hora	0,9300	0,0059
	Comp.inicial-Comp. em 24 horas	0,1385	0,0021

Com a finalidade de facilitar a comparação entre os diversos grupos estudados, as médias referentes aos valores obtidos para condição experimental foram transportados para gráfico de linha (Figura 11).

FIGURA 11 - Resultados médios (em mm) do comprimento inicial e final nos períodos observados das diversas resinas compostas avaliados

Uma análise geral dos resultados destas diferenças demonstra haver uma diferença aritmética entre as médias obtidas para os diferentes grupos estudados. Assim, com a finalidade de determinar se estas diferenças aritméticas observadas são significantes, os resultados obtidos

foram submetidos a uma análise estatística. Por meio de Análise de Variância a Dois Critérios com Repetição de um dos critérios (o período observado) foi detectada uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$) entre as resinas compostas estudadas (Tabela 16).

TABELA 16 - ANOVA a dois critérios com repetição de um dos critérios

Efeito	G.L. Efeito	Quadrado médio	G.L. Erro	Quadrado médio Erro	F	p
Material	4*	0,026658*	45*	0,000296*	90,1187*	0,000000*
Tempo	2*	0,041760*	90*	0,000079*	530,2643*	0,000000*
Interação	8*	0,002787*	90*	0,000079*	35,3907*	0,000000*

Para que as comparações individuais entre os materiais pudessem ser analisadas, foi aplicado o teste de Tukey⁵⁴ (Tabelas 17, 18 e 19).

TABELA 17 - Teste de Tukey, para comparações individuais, aplicado na avaliação da diferença entre o comprimento inicial (l_0) e o comprimento final (l_1), aos 15 minutos de aplicação da carga de 36MPa, referente à deformação permanente ocorrida neste período

Efeito	G. L.	Quadrado médio	G. L.	Quadrado médio erro	F	p
Material	4*	0,002194*	45*	0,000090*	24,34167*	0,000000*

Material	Alert	Charisma F	Heliomolar Radiopaque	Solitaire	Tetric Ceram
Alert		0,003636*	0,000134*	0,031956*	0,000135*
Charisma F			0,000160*	0,929081	0,109609
Heliomolar Radiopaque				0,000135*	0,041352*
Solitaire					0,015711*
Tetric Ceram					

* diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

TABELA 18 - Teste de Tukey, para comparações individuais, aplicado na avaliação da diferença entre o comprimento inicial (l_0) e o comprimento final (l_2), após 1 hora de aplicação da carga de 36MPa, referente à deformação permanente ocorrida neste período

Efeito	G. L.	Quadrado médio	G. L.	Quadrado médio Erro	F	p
Material	4*	0,007521*	45*	0,000138*	54,67*	0,000000*

Material	Alert	Charisma F	Heliomolar Radiopaque	Solitaire	Tetric Ceram
Alert		0,000376*	0,000134*	0,051591	0,000134*
Charisma F			0,000134*	0,359181	0,012762*
Heliomolar Radiopaque				0,000134*	0,000155*
Solitaire					0,000184*
Tetric Ceram					

* diferença estatisticamente significante ($p < 0,05$).

TABELA 19 - Teste de Tukey, para comparações individuais, aplicado na avaliação da diferença entre o comprimento inicial (l_0) e o comprimento final (l_3), após 24 horas de aplicação da carga de 36MPa, referente à deformação permanente ocorrida neste período

Efeito	G. L.	Quadrado médio	G. L.	Quadrado médio Erro	F	p
Material	4*	0,0022517*	45*	0,000226*	99,80450*	0,000000*

Material	Alert	Charisma F	Heliomolar Radiopaque	Solitaire	Tetric Ceram
Alert		0,000140*	0,000134*	0,000136*	0,000134*
Charisma F			0,000134*	0,999318	0,000137*
Heliomolar Radiopaque				0,000134*	0,000134*
Solitaire					0,000142*
Tetric Ceram					

* diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Examinando os resultados obtidos nas Tabelas 17, 18 e 19, observa-se que, fixando-se o período analisado, de maneira geral, houve diferença estatística entre os diferentes materiais estudados. Não houve variação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) quando, aos 15 minutos de aplicação de carga, se considerar os produtos CHARISMA F, o SOLITAIRE e o TETRIC CERAM; após 1 hora, entre o ALERT, o CHARISMA F e o SOLITAIRE e, após 24 horas, entre o CHARISMA F e o SOLITAIRE. Essas diferenças são melhor visualizadas ao se observar, também, a Figura 11.

Verifica-se que, à medida que decorreu o tempo, possivelmente houve polimerização, pelo menos em parte dos monômeros residuais das resinas compostas analisadas, portanto, nos últimos períodos observados, as resinas tornaram-se mais rígidas e mais resistentes à deformação.

Porém, não houve um comportamento semelhante entre os produtos, e isto se torna claro se levar em consideração alguns fatores: a estrutura da fase orgânica^{1, 4, 6, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 46, 49, 51, 53, 55, 57, 59}, a fração de volume da carga inorgânica^{6, 8, 9, 11, 14, 17, 23, 27, 29, 32, 39, 41, 55, 57}, e a absorção de água^{8, 22, 23, 24, 26, 40, 55} de cada resina composta analisada.

Quanto à estrutura da fase orgânica, as resinas estudadas não possuem matrizes semelhantes por possuírem, em suas composições, monômeros diferentes ou por os apresentarem em quantidades diversificadas (Tabela 20). Por este motivo, apesar da padronização da cor da resina composta, da distância ponta ativa do aparelho fotopolimerizador ao material, da intensidade de luz e do tempo de exposição^{46, 47}, ao polimerizar, estas resinas apresentarão diferentes valores para os índices de conversão^{2, 3} e, provavelmente, um número acentuado e desigual de monômeros residuais^{35, 38, 47}. O produto comercial, com o número mais elevado de monômeros livres naturalmente sofrerá maior deformação. Para descartar esta variável que influenciaria os resultados desta pesquisa, realizou-se uma ativação complementar, como descrito em MATERIAL E MÉTODOS, minimizando o conteúdo de monômeros livres nas amostras^{33, 35}. Também, o tipo e a quantidade de iniciadores, se ficarem livres, poderão influir no grau de conversão^{1, 2, 3, 4, 16, 18, 35, 38, 39, 46, 47, 48}. Como são componentes determinados pelo fabricante e normalmente não divulgados, considerou-se como não-influente nesta pesquisa.

Porém, deve-se conhecer a composição do complexo resinoso de cada resina composta analisada, pois estes são diversos, como está demonstrado na Tabela 20.

TABELA 20 - Componentes da composição das resinas compostas estudadas

MATERIAL	COMPLEXO RESINOSO		CARGA INORGÂNICA	
	Composição	%	Composição	% (em peso)
ALERT	Polícarbonato dimetacrilato, dimetacrilato difenol-A-etoxilado, 2,2'(2,5-tiofendil)BIS(5-terc butil benzoaxaz 2(2-hidroxi-5-terc-octilfenil), benzotriazol, canforoquinona e dietil amino etil metacrilato*	≅16	Vidro de borossilicato de bário, sílica, dióxido de silício, óxido de magnésio e óxido de alumínio*	84
CHARISMA F	Bis-GMA, trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA) e uretano dimetacrilato (UDMA)*	≅24	Vidro de bário-alumínio fluoretado e dióxido de silício em elevada dispersão*	76
HELIOMOLAR RADIOPAQUE	Bis-GMA, trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA) e uretano dimetacrilato (UDMA) ⁹	≅20	Trifluoreto de itérbio, sílica coloidal dispersa e sílica coloidal aglutinada ¹⁵	80
SOLITAIRE	Polyglas e éster do ácido (meta)acrílico*	≅35	Boro silicato de flúor-bário-alumínio, sílica coloidal pirogênica, sílica coloidal porosa, silicato de fluoralumínio, fluoretos*	65
TETRIC CERAM	Bis-GMA, uretano dimetacrilato (UDMA) e trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA)*	≅21	Vidro de bário, trifluoreto de itérbio, fluorsilicato de bário-alumínio, dióxido de silício em elevada dispersão e mistura de óxidos esferoidais*	79

* Informações fornecidas nas bulas ou prospectos pelos respectivos fabricantes dos produtos.

O complexo resinoso da maioria destas resinas compostas é basicamente formado pelo monômero aromático BisGMA, do diluente TEGDMA e um menor conteúdo do monômero poliuretano UDMA (Tabela 20).

A resina ALERT apresenta o dimetacrilato difenol-A-etoxilado (Tabela 20), ou seja, para melhorar ou diminuir a sorção de líquido pelo BisGMA, a sua estrutura foi etoxizada, havendo uma eliminação de um radical etoxi (-C-C-) na parte da cadeia de carbonos do glicidil, exatamente onde se encontra a hidroxila (-OH). Deste modo há uma menor presença de hidroxilas, portanto menor influência na absorção de líquidos³⁸. Porém, nesta pesquisa, houve uma padronização quanto ao fator sorção de líquidos, pois todos os espécimes ficaram, durante todo o experimento, imersos em água como descrito em MATERIAL E MÉTODOS.

É interessante ressaltar que a resina SOLITAIRE apresenta uma matriz diferente das resinas compostas convencionais, pois não existe o BisGMA ou TEGMA, mas uma molécula denominada “Polyglas”⁵⁰ (Tabela 20). Este monômero é um silicato modificado organicamente ou compostos orgânicos de silício, que são alcóxidos de silício tetrafuncional como o tetra-etox-orto-silano^{28, 35, 38}. Pode-se entender que o “polyglas” é um monômero

“orgânico-inorgânico” que apresenta uma estrutura que contém uma molécula inorgânica conectada ao grupo reativo alcóxido. Esta configuração proporciona o dobro de conversão de união durante o processo de polimerização do material. Além de desenvolver um maior índice de ligações cruzadas, também permite um melhor controle sobre o posicionamento, na cadeia, do carbono onde ocorrerá a ligação cruzada. Portanto, há uma melhora na resistência à deformação e em outras propriedades físicas e mecânicas da fase orgânica do material em questão. Na realidade, esta matriz é um complexo resinoso que contém átomos inorgânicos, o que lhe confere propriedades mecânicas diferentes das matrizes convencionais comumente encontradas nas resinas compostas. A somatória da carga inorgânica, de aproximadamente 65%, em peso⁵⁰, com essas partículas inorgânicas presentes na matriz orgânica, talvez represente uma percentagem maior no total³⁵ pois, essa resina, apesar de ter um baixo conteúdo de carga, quando comparada com as demais empregadas nesse experimento, apresentou melhores valores de “creep” (ou seja, inferiores) que a resina HELIOMOLAR RADIOPAQUE, a TETRIC CERAM e a CHARISMA F, em todos os períodos observados; apesar de estatisticamente serem valores similares aos da CHARISMA F nesses períodos e somente semelhantes ao da TETRIC CERAM aos 15 minutos de ensaio. Observou-se maiores mensurações

(menor “creep”) quando comparadas às da ALERT, entretanto sem diferença estatística no período de 1 hora.

A fração de carga inorgânica incorporada às resinas é uma importante variável que interfere na deformação do material^{13, 58}. A influência da carga sobre o valor do “creep” refere-se principalmente ao tamanho, composição e distribuição das partículas inorgânica na matriz resinosa da resina composta^{8, 14, 17, 23, 27, 29, 35, 38, 55, 57}. Em função da concentração de carga, como atualmente, nas resinas modernas, o tamanho das partículas está, em média, ao redor de 0,5 a 1µm, apesar que de nas consideradas “acomodáveis”, como a ALERT e a SOLITAIRE existam algumas partículas de maiores mensurações, é dificultoso um aumento substancial da fração de volume da carga. Contudo, é viável e mais correto modificar a distribuição das partículas de tal forma que o seu tamanho gire em torno de sua média. É certo que o tamanho e a porcentagem de volume das partículas influenciam, mas o mais importante, porém, não é o tamanho, em termos de volume, mas, sim, em termos de sua área de superfície. Pois partículas de formato mais regular e com características esferoidais, por sua própria configuração, têm tendências a sofrerem deslizamento de umas sobre as outras, proporcionando uma deformação maior ao material. Como se sabe,

também em outros materiais odontológicos houve a associação de partículas de tamanhos e formatos diferentes com a finalidade de melhoria nas propriedades físicas e mecânicas. Porém, especificamente nas resinas compostas, a área de superfície das partículas, da fase inorgânica, em relação ao volume, representa também um papel importante na degradação hidrolítica do material^{35, 38}, que estaria diretamente relacionada à capacidade de sorção de líquidos da resina composta.

Em relação à absorção de líquidos, todos os corpos-de-prova foram imersos em água logo após o término da fotopolimerização até o último período observado neste experimento, com o intuito de induzir a expansão higroscópica, essencial para se ter o equilíbrio da contração de polimerização. Esta absorção de líquido pela resina depende da constituição da matriz orgânica^{4, 6, 46, 59}, portanto, a quantidade de líquido absorvido é diferente para cada resina composta e, logicamente, a liberação das tensões e expansão higroscópica são desiguais^{22, 38, 48}.

Para se ter uma noção quantitativa dos valores das deformações ocorridas, a observação na Tabela 14 mostra que a resina ALERT apresentou o menor “creep” quando comparada com as demais, só se demonstrando estatisticamente semelhante à CHARISMA F e à SOLITAIRE, na primeira hora de ensaio compressivo constante. O fato

não ocorre entre as resinas TETRIC CERAM e a HELIOMOLAR RADIOPAQUE que apresentaram resultados mais elevados, portanto, maior índice de deformação permanente, em qualquer período observado, em relação às demais marcas comerciais analisadas. As resinas compostas CHARISMA F e SOLITAIRE, apresentaram um padrão de deformação semelhante, ou seja, sem significância estatística em qualquer período de observação. Provavelmente estes resultados são conseqüências da composição das resinas.

Para explicar a variação entre os valores do “creep estático” das resinas compostas, deve-se considerar outros fatores da composição que podem também determinar estas variações^{4, 47}.

Em relação à resina composta, o “creep” está intimamente interligado com o módulo de elasticidade da matriz orgânica^{4, 47}, com a porcentagem, estrutura, tamanho e formato das partículas inorgânicas^{8, 14, 17, 23, 27, 29, 57}. O módulo de elasticidade das resinas compostas^{6, 8, 20, 21, 27, 29} determina a resistência da deformação plástica^{13, 58} provocada pela pressão da carga^{1, 44}.

Em função da concentração de carga, existem diferenças na composição dos produtos estudados quanto à porcentagem, em peso, quanto ao tipo de material empregado para obtenção dessas partículas e variação no número delas distribuído na matriz orgânica (Tabela 20), justificando, desta maneira, os resultados observados.

Além disso, a influência da microestrutura parece induzir uma relação de “creep primário” onde o deslocamento molecular provoca um rearranjo da grade espacial induzindo uma modificação volumétrica^{1,44}.

O aumento do “creep estático”, em função do tempo, com redução acentuada nos períodos até 24 horas, está de acordo com o trabalho de BAPNA; MUELLER; KNOEPPEL⁵. As variações entre os valores do “creep estático” das resinas testadas, estão relacionadas ao tempo de aplicação da carga e a composição dos materiais, considerando que as outras condições foram as mesmas.

Os valores de “creep estático”, em ordem decrescente, para o período de 15 minutos foi: HELIOMOLAR RADIOPAQUE (X=1,0192%), TETRIC CERAM (X=0,8787%), CHARISMA F (X=0,7469%), SOLITAIRE (X=0,6738%) e ALERT (X=0,5095%). Para o período de 1 hora: HELIOMOLAR RADIOPAQUE (X=1,5546%), TETRIC CERAM (X=1,2082%), CHARISMA F (X=0,9744%), SOLITAIRE (X=0,8245%), ALERT (X=0,6348%) e para o último período observado, que foi de 24 horas, obteve-se a seguinte sequência: HELIOMOLAR RADIOPAQUE (X=2,3747%), TETRIC CERAM (X=1,7993%), CHARISMA F (X=1,2812%), SOLITAIRE (X=1,2645%) e ALERT (X=0,7600). Os valores médios do “creep estático” das resinas CHARISMA F e SOLITAIRE não foram estatisticamente diferentes em qualquer um dos períodos estudados, sendo que no período de 15 minutos, os resultados obtidos para a resina TETRIC CERAM também se assemelharam aos destas e, em 1 hora, as da resina composta ALERT foram similares aos das duas primeiras; porém, a resina HELIOMOLAR

RADIOPAQUE, apresentou mensurações divergentes das anteriores, demonstrando piores características de deformação permanente, por possuir maiores valores de “creep estático” em qualquer período estudado.

Em resumo, as variações dos valores do “creep estático” para os materiais testados podem ser atribuídos, além de tempo de aplicação da carga, aos fatores relacionados à composição dos produtos. A maior fração das partículas inorgânicas em relação à matriz de resina^{8, 11, 12, 14, 17,23, 27, 29, 39, 41, 57}, o módulo de elasticidade mais alto das fases orgânica e inorgânica^{11, 29, 30, 42}, o maior grau de conversão^{10, 11, 42} e a maior força de união entre as partículas inorgânicas e a matriz da resina, tendem a diminuir os valores do “creep”. O efeito plastificante da água absorvida^{22, 29, 32, 39, 42, 57} aumenta o valor do “creep estático”³⁰ com os produtos possuidores de maior fração de matriz de resina, absorvendo mais água¹¹.

O significativo potencial do “creep” tem sido extensivamente determinado em alguns estudos *in vitro*, porém ressalta-se a importância da avaliação dessa propriedade, não isoladamente, mas agrupada à outras, quando da seleção da resina composta a ser empregada como restauradora, especialmente em restaurações posteriores. As resinas compostas são passíveis de sofrerem deformação permanente, em função do tempo e sob baixas tensões e o desempenho clínico restaurador dessas, em áreas de esforço contínuo, é diretamente influenciada pela deformação permanente, conjuntamente com outras propriedades mecânicas.

6 - CONCLUSÕES

6 - CONCLUSÕES

Com base na literatura revisada e nos resultados analisados após cálculo do “creep” para cada resina composta estudada, nos períodos determinados, pode-se concluir:

1. Todos produtos comerciais analisados, neste experimento, sofreram deformação permanente nos períodos observados.
2. A variação do índice foi maior no primeiro período em relação aos demais e houve uma tendência crescente com o aumento dos intervalos do tempo.
3. A resina ALERT apresentou, estatisticamente, menores valores de “creep”, em todos os períodos, sendo similar à SOLITAIRE e à CHARISMA F no período de 1 hora.
4. A resina composta SOLITAIRE não se diferiu da CHARISMA F em qualquer período estudado, apresentando-se não estatisticamente diferente, o TETRIC CERAM, aos 15 minutos de ensaio.
5. A TETRIC CERAM se comportou inferior em relação a ALERT, SOLITAIRE e CHARISMA F, mas ainda com mensurações estatisticamente superiores às da resina HELIOMOLAR RADIOPAQUE.

6. Os maiores valores para “creep” foram obtidos pelo ensaio com a resina HELIOMOLAR RADIOPAQUE, portanto, este produto possui maior deformação permanente quando submetido às condições deste experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

- 1 -ANUSAVICE, K. J. **Phillips/Materiais Dentários**. 10 ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998. Cap 3/4, p 19-43.
- 2 -ASMUSSEN, E. A qualitative and quantitative analysis of tertiary amines in restorative resins. **Acta odont. Scand.**, v. 38, n. 2, p. 95-9, 1980.
- 3 -ASMUSSEN, E. Quantitative analysis of peroxides in restorative resins. **Acta odont. Scand.**, v. 38, n. 5, p. 269-72, 1980.
- 4 -ASMUSSEN, E. Clinical relevance of physical, chemical, and bonding properties of composite resins. **Oper. Dent.**, v. 10, n. 2, p. 61-73, Spring 1985.

* Normas recomendadas para o uso no âmbito da Universidade de São Paulo, com base no documento "Referências Bibliográficas: exemplos", emanado do Conselho Superior do Sistema Integrado de Bibliotecas da USP, em reunião de 20 de setembro de 1990.

- 5 -BAPNA, M. S.; MUELLER, H. J.; KNOEPPPEL, R. Compressive creep of dental composites. **J. dent. Res.**, v. 64, n. 9, p. 1179-84, Sept. 1985.
- 6 -BOWEN, R. L. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. **J. Amer. dent. Ass.**, v. 66, p. 57-64, Jan. 1963.
- 7 -BOYER, D. B. et al. Viscoelasticity and aging of dental composites. **Biome. Mater. Eng.**, v. 8, n.1, p. 45-53, 1998.
- 8 -BRAEM, M. et al. Mechanical properties and filler fraction of dental composites. **Dent. Mat.**, v. 5, n. 5, p. 346-8, Sept. 1989.
- 9 -CHAIN, M. C.; BARATIERI, L. N. **Restaurações estéticas com resina composta em dentes posteriores.** São Paulo, Artes Médicas.. 1998. 176p.
- 10 -CHUNG, K. H. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. **J. dent. Res.**, v. 69, n. 3, p. 852-6, Mar. 1990.

- 11 -COCK, D. J.; WATTS, D. C. Time-dependent deformation of composite restorative materials in compression. **J. dent. Res.**, v. 64, n. 2, p. 147-50, Feb. 1985.
- 12 -COHEN, S. M.; SCHULMAN, A. Composites: yesterday, today and ...?... tomorrow. **N. Y. St. dent. J.**, v. 54, n. 7, p. 34-9, Aug./Sept. 1988.
- 13 -DAVIS, D. M.; WATERS, N. E. Fractography of a bis-GMA resin. **J. dent. Res.**, v. 68, n. 7, p. 1194-8, July 1989.
- 14 -DENG, M.; SHALABY, S. W. Properties of self-reinforced ultra-high-molecular-weight polyethylene composites. **Biomater.**, v. 18, n. 9, p. 645-55, May 1997.
- 15 -DOMENE, S. **Avaliação da abrasão e textura superficial de resinas compostas**. Bauru, 1993. 88p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.

- 16 - DULIK, D.; BERNIER, R.; BRAUER, G. M. Effect of diluent monomer on the physical properties of bisGMA-based composites. **J. dent. Res.**, v. 60, n. 6, p. 983-9, June 1981.
- 17 - FERRACANE, J. L.; MATSUMOTO, H.; OKABE, T. Time-dependent deformation of composite resins - compositional considerations. **J. dent. Res.**, v. 64, n. 11, p. 1332-6, Nov. 1985.
- 18 - FRITH, E. M.; TUCKETT, R. F. Linear polymers. In: _____.
The physical properties of linear polymers. Toronto, Longmanos Grenn, 1951. Cap. 2, p. 272-348.
- 19 - GEURTSE, W. **Klinnik der kompositfüllung.** München, Hanser, 1989.
p.33.
- 20 - GILBERT, J. L.; NEY, D. S.; LAUTENSCHLAGER, E. P. Self-reinforce composite poly (methyl methacrylate): static and fatigue properties. **Biomater.**, v. 14, n. 14, p. 1043-55, Sept. 1995.

- 21 -GOLDMAN, M. Fracture properties of composite and glass ionomer dental restorative materials. **J. Biomed. Mat. Res.**, v. 19, n. 7, p. 771-83, Sept. 1985.
- 22 -HIRANO, S.; HIRASAWA, T. Creep on a composite resin in water. **Dent. Mater. J.**, v. 8, n. 1, p. 93-9, June 1989.
- 23 -HIRANO, S.; HIRASAWA, T. Compressive creep and recovery of composite resins with various filler contents in water. **Dent. Mater. J.**, v. 11, n. 2, p. 165-76, Dec. 1992.
- 24 -HIRANO, S.; HIRASAWA, T. Compressive creep of posterior and anterior composite resins in water. **Dent. Mater. J.**, v. 13, n.2, p. 214-9, Dec. 1994.
- 25 -JØRGENSEN, D. Restorative resins: abrasion vs. mechanical properties. **Scand. J. dent. Res.**, v. 88, n. 6, p. 557-68, 1980.

- 26 -KILDAL, K. K.; RUYTER, I. E. How different curing methods affect mechanical properties of composite for inlays when tested in dry and wet conditions. **Europ. J. oral Sci.**, v. 105, n. 4, p. 353-61, Aug. 1997.
- 27 -KRAUSE, W. R.; PARK, S. H.; STRAUP, R. A. Mechanical properties of BIS-GMA resin short glass fiber composites. **J. Biomed. Mat. Res.**, v. 23, n. 10, p. 1195-211, Oct. 1989.
- 28 -KUNZELMANN, K. H.; MEHL, A.; HICKEL, R. Sliding-wear of an experimentalOrmocer and 15 commercial composites. **J. dent. Res.**, p.226, 1998. / AADR Abstract n.77/
- 29 -LAMBRECHTS, P.; BRAEM, M.; VANHERLE, G. Buonocore memorial lecture: evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. **Oper. Dent.**, v. 12, n. 2, p. 53-78, 1987.

- 30 - LEE, JR., H. L.; ORLOWSKI, J. A. **Handbook of dental composite restoratives**. 3 ed. California, Lee Pharmaceuticals, 1974.
- 31 - LEINFELDER, K. F. New developments in resin restorative systems. **J. Amer. dent. Ass.**, v. 128, n. 5, p.573-81, May 1997.
- 32 - LOEWENSTEIN, K. L. Glass systems. In: HOLLIDAY, L. **Composite material**. Amsterdam, Elsevier Publishing, 1966. Cap. 5, p. 129-220.
- 33 - MAIA, H. P.; NAGEM FILHO, H. Avaliação do “creep” estático em resinas compostas. **Rev. FOB**, v. 2, n. 3, p. 46-9, jul./set., 1994.
- 34 - MACCHI, R. L. Propriedades de los materiais. In: _____. **Materiales dentales - fundamentos para su estudio**. Buenos Aires, Panamericana, 1980. Cap. 2, p.20-45.

- 35 - MARIA, V. S. **Determinação da deformação permanente em resinas compostas fotopolimerizáveis.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo. 101p. 1998.
- 36 - MCCUNE, R. J. et al. A clinical comparison for posterior restorative materials. **J. dent. Res.**, v.46, 1967. Supplement 6 / Abstract n.546/
- 37 - MCCUNE, R. J. et al. Clinical comparison of anterior and posterior restorative materials. **IADR Meeting**, Houston, Texas, Mar. 1969. / Abstract n.482/
- 38 - NAGEM FILHO, H. **Materiais dentários:** resinas compostas. Bauru, Produções Artes Gráficas, 1999. p.84.
- 39 - ODÉN, A.; RUYTER. I. E.; ØYSÆD, H. Creep and recovery of composites for use in posterior teeth during static and dynamic compression. **Dent. Mat.**, v. 4, n. 3, p. 147-50, June 1988.

- 40 - ØYSÆD, H.; RUYTER, I. E. Composites for use in posterior teeth: mechanical properties tested under dry and wet conditions. **J. Biomed. Mater. Res.**, v. 20, n. 2, p. 261-71, Feb. 1986.
- 41 - PAPADOGIANIS, Y.; BOYER, D. B.; LAKES, R. S. Creep of conventional and microfilled dental composites. **J. Biomed. Mat. Res.**, v. 18, n. 1, p. 15-24, Jan. 1984.
- 42 - PAPADOGIANIS, Y.; BOYER, D. B.; LAKES, R. S. Creep of posterior dental composites. **J. Biomed. Mat. Res.**, v. 19, n.1, p. 85-95, Jan. 1985.
- 43 - PAPADOYANNIS, J. et al. Study of the creep of glass-ionomer cements. **Odontostomatol. Proodos.**, v. 43, n.6, p.513-20, Dec. 1989.
- 44 - PHILLIPS, R. W. Physical properties of dental materials. Rheology. Color. Thermical properties. In: _____. **Skinner's science of dental materials**. 9 ed. Philadelphia, W.B.Sauders, 1991.

- 45 -PHILLIPS, R. W. et al. One-year observations on a composite resin for Class II restorations. **J. prosth. Dent.**, v. 26, p. 68-77, July 1971.
- 46 -RUYTER, I. E.; ØYSÆD, H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. **Acta odont. scand.**, v. 40, n.3, p. 179-92, 1982.
- 47 -RUYTER, I. E.; ØYSÆD, H. Compressive creep of light cured resin based restorative materials. **Acta odont. scand.**, v. 40, n. 5, p. 319-24, 1982.
- 48 -SANG, J. et al. Creep studies of visible light-cured posterior composite resins. **J. dent. Res.**, v. 71, p. 137, Mar. 1992. /Abstract n. 249/
- 49 -SCHMIDT, A. X.; MARLIES, C. A. **Principles of high-polymer theory and practice.** New York, McGraw-Hill Book, 1948.

- 50 -SOLITAIRE. s.l. Heraeus Kulzer, s.d. /Cópia xerográfica de prospecto do fabricante/
- 51 -TABATA, Y Creep characteristics of BisGMA-TriEDMA based composite resins. **Shika-Zairyo-Kikai**, v. 8, n.6, p.896-907, Nov. 1989.
- 52 -TETRIC CERAM: dossier de producto. Schaan, Vivadent, s.d.
- 53 -TOBOLSKY, A. V. **Properties and structure of polymers**. 2 ed., New York, John Wiley & Sons, 1962.
- 54 -TUKEY, J. W. The analysis of covariance. In: SHEFFÉ, H. **The analysis of variance**. New York: John Wiley, 1959. p.76-77.
- 55 -VANHERLE, G.; SMITH, D. C. **Posterior composite resin dental restorative materials**. Minnesota, Minnesota Mining, 1985.

- 56 - VIEIRA, D. F. **Propriedades dos materiais odontológicos: noções fundamentais.** São Paulo, EDUSP, 1965. 159p.
- 57 - VON FRAUNHOFER, J. A.; CURTIS JR., P. Physical and mechanical properties of anterior and posterior composite restorative materials. **Dent. Mat.**, v. 5, n. 6, p. 365-8, Nov. 1989.
- 58 - WAKASA, K.; YAMAKI, M.; MATSUI, A. Calculation models for average stress and plastic deformation zone size of bonding area in dentine bonding systems. **Dent. Mater. J.**, v. 14, n. 2, p. 152-65, Dec. 1995.
- 59 - WU, W., MCKINNEY, J. E. Influence of chemicals on wear of dental composites. **J. dent. Res.**, v. 61, n. 10, p. 1180-3, Oct. 1982.

ABSTRACT

CREEP OF LIGHT-CURED POSTERIOR COMPOSITE RESINS

ABSTRACT

The posterior composite resins dental restorative materials, have been, extensively, used in substitution of dental amalgam, in function of its aesthetic best. Although the use of those resins, in areas subject to the forces occlusal, increased significantly, the need evaluation of the behavior of “static creep”-important property to be considered in those situations-it is not very disclosed. For this reason, the objective of the present paper was to determine the “static creep” of the composite resins: Alert [A], Charisma F [C], Heliomolar Radiopaque [H], Solitaire [S] and Tetric Ceram [T], by evaluation means of the permanent deformation. That deformation was determined in specimens submitted to a constant compressive load of 36MPa, in $37 \pm 1^\circ\text{C}$, immersed in recipient contend water, for periods of 15 minutes, 1 hour and 24 hours. The results obtained in that experiment present the quantitative values of the “creep” in crescent order, for the period of 15 minutes: H, T, C, S, A; in 1 hour: H, T, C, S, A and in 24 hours: H, T, C, S, A. The profile analysis of the “creep” for five composite resins evaluated in the four pre-determined periods demonstrated similar results for C, S, T in 15 minutes, A, C, S, in 1 hour and C, S for 24 hour, and different for H in every observed time.