

# **INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE INSERÇÃO NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS**

**Andrea Fagundes Campello**

Dissertação em Ciência e Tecnologia de Polímeros, submetida ao Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências, em Ciência e Tecnologia de Polímeros, realizada sob orientação do Professor Ailton de Souza Gomes e de Victor Jayme Roget Rodriguez Pita.

Rio de Janeiro

2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Dissertação de Mestrado:** Influência da técnica de inserção nas propriedades dos compósitos restauradores odontológicos

**Autor:** Andrea Fagundes Campello

**Orientadores:** Ailton de Souza Gomes e Victor Jayme Roget Rodriguez Pita.

**Data da Defesa:** 24 de junho de 2006

**Aprovada por:**

---

Professor Ailton de Souza Gomes, PhD  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ  
Orientador/Presidente da Banca Examinadora

---

Victor Jayme Roget Rodrigues Pita, DSc  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ  
Orientador

---

Professor Luis Claudio Mendes, DSc  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ

---

Luisa Magno de Carvalho, DSc

---

Professor Ricardo Cunha Michel, DSc  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ

## FICHA CATALOGRÁFICA

Campello, Andrea Fagundes.

Influência da técnica de inserção nas propriedades dos compósitos restauradores odontológicos / Andrea Fagundes Campello. Rio de Janeiro – 2006.  
x, 81f.:il.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA, 2006.

Orientadores: Ailton de Souza Gomes e Victor Jayme Roget Rodriguez Pita.

1. Compósitos restauradores. 2. Técnica de inserção. 3. Propriedades. 4. Ensaio de flexão. I. Gomes, Ailton de Souza (Orient.). II. Pita, Victor Jayme Roget Rodriguez (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano. IV. Título.

Esta Dissertação de Mestrado foi desenvolvida nos Laboratórios do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio Janeiro (IMA/UFRJ), com o auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda a minha família, em especial aos meus pais.

Este trabalho também é dedicado aos meus amigos dos cursos de Mestrado e Doutorado do IMA da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Eu não teria conseguido sem vocês!

## AGRADECIMENTOS

- Aos meus orientadores, Ailton de Souza Gomes e Víctor Jayme Roget Rodrigues Pita, por terem me dado a oportunidade de realizar este trabalho e por tudo o que me ensinaram durante o período de desenvolvimento desta dissertação, além da paciência.
- A toda equipe da Central Bibliográfica de Polímeros (CBP/IMA), em especial a Bibliotecária Chefe, Maria das Graças Freitas Souza Filho, que muito me auxiliou durante a elaboração da revisão bibliográfica.
- A todos os professores do IMA, cujos ensinamentos tornaram possível a concretização deste trabalho.
- A todos os amigos e colegas do IMA, em especial aos que fizeram parte da turma do curso de nivelamento de Julho de 2003, pela cooperação mútua.
- A todos os funcionários do IMA.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.
- A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

***“Sabemos que o que fizemos foi apenas uma gota d’água no oceano, mas, se não tivéssemos feito, essa gota faltaria”.***

Resumo da Dissertação apresentada ao Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (MSc), em Ciência e Tecnologia de Polímeros.

## **INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE INSERÇÃO NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS RESTAURADORES ODONTOLÓGICOS**

Andrea Fagundes Campello

Orientadores: Ailton de Souza Gomes

Victor Jayme Roget Rodriguez Pita

Resinas compostas microhíbridas, fotopolimerizáveis de uso odontológico das marcas comerciais Z100, TPH, W3D Master, Fill Magic e Herculite XRV foram submetidas à aplicação de técnicas de inserção incremental e de incremento único. A influência da aplicação destas diferentes técnicas sobre as propriedades finais das resinas compostas foi investigada. Os corpos de prova resultantes da aplicação destas diferentes técnicas de inserção foram caracterizados quanto à resistência mecânica através de ensaios de flexão e quanto ao grau de conversão através de análises de espectrometria na região do infravermelho. Além disso, foram avaliados também quanto à contração volumétrica e linear com o objetivo de se verificar a contração de polimerização para as diferentes técnicas. Os resultados obtidos mostram que a técnica de inserção influencia significativamente na contração de polimerização. O grau de conversão tende a ser superior para a técnica incremental. Em contrapartida, observou-se uma maior fragilidade mecânica em amostras preparadas por esta técnica. Das marcas comerciais a Z100 apresentou os melhores desempenhos, relativos a contração e propriedades mecânicas quando comparada às demais resinas, enquanto a resina XRV apresentou o pior comportamento.

Rio de Janeiro

2006

Abstract of Dissertation presented to Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano of Universidade Federal do Rio de Janeiro, as partial fulfillment of the requirement for the degree of Master in Science (MSc), Science and Technology of Polymers.

**INFLUENCE OF INSERT TECHNIQUE ABOUT THE DENTAL RESTORATIVE  
MATERIALS PROPERTIES**

Andrea Fagundes Campello

Advisors: Ailton de Souza Gomes

Victor Jayme Roget Rodriguez Pita

Microhybrid resin composites light-cured for dental restorations, trade marks Z100, TPH, W3D Master, Fill Magic and Herculite XRV were submitted to the incremental technique and technique of only increment. The influence of the application of these different techniques on the final properties of the composed resins was investigated. The specimens obtained had its mechanical resistance and conversion degree measured. The linear and volumetric contraction were also determined. The results obtained show that the insert technique influences significantly in the contraction of polymerization. The conversion degree is higher for the incremental technique. By the other side, the specimens produced by this technique has lower mechanical resistance. The best results were obtained for Z100, while the XRV showed the worst behavior.

Rio de Janeiro

2006

# SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
2.1- RESINA COMPOSTA	3
<b>2.1.1- Composição das resinas compostas</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2- Classificação das resinas compostas</b>	<b>11</b>
2.2- TÉCNICA DE INSERÇÃO	14
<b>2.2.1- Contração de polimerização</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2- Propriedades mecânicas</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3- Microinfiltração</b>	<b>20</b>
<b>3- MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1- MATERIAIS	25
3.2- EQUIPAMENTOS	26
3.3- MÉTODOS	27
<b>3.3.1- Análise termogravimétrica</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2- Espectrometria de infravermelho</b>	<b>28</b>
<b>3.3.3- Contração de polimerização</b>	<b>29</b>
<b>3.3.4- Ensaio de flexão</b>	<b>36</b>
<b>3.3.5- Microscopia óptica</b>	<b>37</b>
<b>3.3.6- Microscopia Eletrônica de Varredura</b>	<b>37</b>
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
4.1- ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	38
4.2- ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO	48
4.3- CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO	54
4.4- ENSAIO DE FLEXÃO	57
<b>5- CONCLUSÃO</b>	<b>70</b>
<b>6- SUGESTÕES</b>	<b>71</b>
<b>7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>

## 1-INTRODUÇÃO

O melhor material dentário é e sempre será de dente natural que consiste em uma mistura de hidroxiapatita e colágeno. Porém, este material pode ser destruído por ação de ácidos resultantes do metabolismo de bactérias presentes na boca, principalmente o *Streptococcus mutans*, causando as cáries[1,2].

Até o final da década de 50 os materiais restauradores de uso odontológico apresentavam limitados resultados estéticos. No meio da década de 60, surge a resina composta, com a missão de substituir os materiais até então existentes, por apresentar resultado estético superior. A primeira resina composta não apresentou o desempenho esperado, mas uma demanda cada vez maior de restaurações estéticas exigiu que pesquisadores e fabricantes trabalhassem na evolução deste material, melhorando suas propriedades físicas e criando métodos para controlar sua eficiência[3].

Por outro lado, a introdução do ataque ácido sugerido por Buonocore[4] em 1955, melhorou sensivelmente a adesão da resina à estrutura dental. O ataque ácido (ou condicionamento ácido) é um procedimento realizado através da aplicação de ácidos na superfície tanto de esmalte quanto da dentina, com a finalidade de produzir microrretenções no esmalte, expor os túbulos dentinários e as fibras colágenas, que estão presentes na dentina, e diminuir a tensão superficial da superfície dentária.

Mesmo sendo um dos materiais restauradores mais utilizados pelos cirurgiões-dentistas, a resina composta ainda apresenta uma grande deficiência que é a contração de polimerização. Tal contração que ocorre durante a polimerização do material gera uma força contrária a união dente-restauração, o que pode levar a ruptura desta união[5,6]

As freqüentes formações de fendas na interface dente-restauração, provenientes da contração, são ainda razão para preocupação clínica. Esta ocorrência pode levar a efeitos indesejáveis como a sensibilidade pós-operatória e a infiltração marginal, comprometendo a longevidade das restaurações[7].

Além da reformulação dos compósitos, alguns procedimentos clínicos foram propostos a fim de reduzir as falhas associadas à contração de polimerização. São exemplos as técnicas para inserção (incremento único e técnicas incrementais), intensidade luminosa e modos de ativação para reduzir a velocidade de polimerização. Ainda não se sabe qual a relevância de cada fator no conjunto, mas parece que o principal está vinculado a formulação da resina composta[8,9,10].

A polimerização incremental tem sido apontada como um recurso operatório que além de reduzir a microinfiltração e a contração de polimerização, gera um material com melhores propriedades mecânicas por colaborar para a adequada polimerização das resinas fotoativadas[11,12].

O presente estudo tem como objetivo estudar os efeitos da aplicação de diferentes técnicas de inserção sobre as propriedades finais de resinas compostas microhíbridas, fotopolimerizáveis de uso odontológico das marcas comerciais: Z100, TPH, W3D MASTER, Fill Magic, Herculite XRV.

## **2- REVISÃO DE LITERATURA**

A necessidade crescente de materiais com maior importância estética tem levado ao aumento das pesquisas que visam de melhorar e tornar as resinas compostas o material mais apropriado para a realização das restaurações dentárias diretas.

Com o surgimento das resinas compostas fotopolimerizáveis na década de 70, o profissional passou a ter sob controle o tempo de trabalho. As resinas compostas apresentavam além de propriedades mecânicas compatíveis com a cavidade bucal, qualidade estética duradoura.

Na tentativa de garantir margens íntegras, diminuir a contração de polimerização e aumentar as propriedades mecânicas deste material novas composições têm sido lançadas no mercado e técnicas de inserção testadas.

Como a técnica de inserção é um dos principais fatores para o sucesso das restaurações, uma análise sobre a influência da mesma nas propriedades mecânicas do material se faz necessária.

### **2.1- RESINA COMPOSTA**

A partir da descoberta da resina composta, há mais de 25 anos, por Bowen[13] nenhum outro material recebeu tanta atenção em odontologia. A evolução deste produto resultou no desenvolvimento de resinas compostas com maior resistência ao desgaste e à fraturas, com combinações aceitáveis e manutenção de cores, além do alto polimento e brilho. Este novo sistema, associado ao condicionamento ácido e à combinação com adesivos, proposto por

Buonocore[4], modificou os conceitos vigentes da época, pela eliminação das retenções tradicionais, possibilitando preparos dentários menos invasivos.

Nenhuma resina composta atingiu ainda a excelência de um material restaurador ideal. Portanto, a necessidade de melhorias nas formulações das resinas visando minimizar a contração de polimerização, responsável pela maior parte dos insucessos nos procedimentos odontológicos, e o aumento da resistência ao desgaste ocasionado pelas forças da mastigação, tornam-se extremamente importantes[14].

### **2.1.1 Formulação das Resinas Compostas**

As resinas compostas basicamente possuem quatro componentes: Matriz resinosa (monômeros), iniciadores de polimerização, cargas inorgânicas, e agente de cobertura das partículas de carga conhecido como Silano[15].

#### **Matriz Resinosa**

O Bis-GMA (bisfenol-glicidil metacrilato) e o UDMA (uretanodimetacrilato) são descritos como os principais componentes da formulação base para obtenção dos compósitos restauradores. As formulações, obtidas com estes monômeros apresentam como característica a alta viscosidade[16].

Para diminuir a viscosidade do sistema, são adicionados monômeros diluentes de baixa viscosidade como o TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato), o qual possibilita a incorporação de alto conteúdo de carga além de propiciar um material final com melhores características de manipulação[16]. A Figura 1 representa as estruturas químicas desses monômeros.

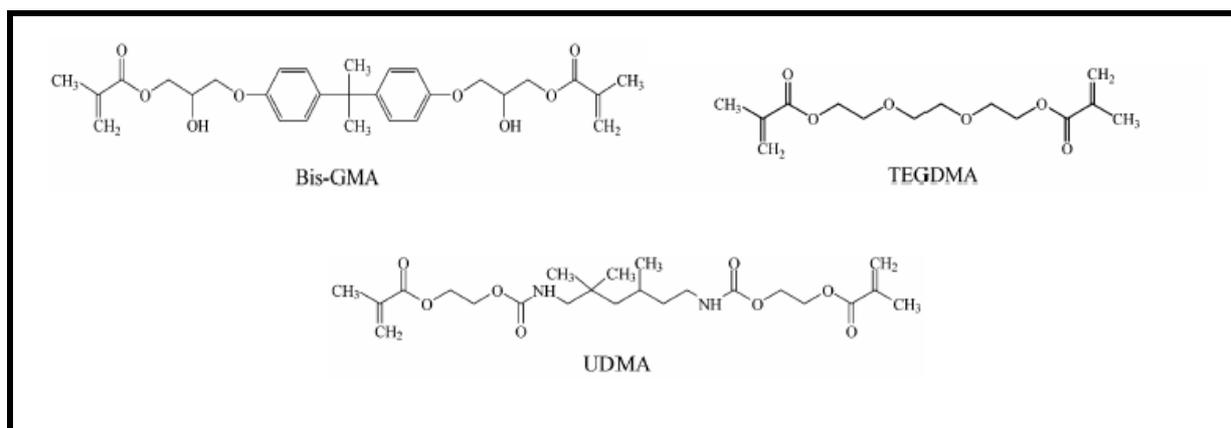


Figura 1: Estrutura dos principais monômeros utilizados

O grau de conversão das resinas compostas quimicamente ativadas e fotoativadas, pode ser obtido medindo-se a quantidade de ligações duplas remanescentes após a polimerização. A quantidade de ligações duplas não-aromáticas remanescentes está relacionada à composição da matriz orgânica da resina composta, ou seja, ao teor de ativador, iniciador e inibidor. As resinas fotoativadas apresentaram uma quantidade menor de ligações duplas remanescente que nas quimicamente ativadas. Em geral a quantidade de ligações duplas diminui quando se eleva o teor de monômero diluente de Bis-GMA. O tipo de diluente também afeta a quantidade de ligações duplas remanescentes, que é menor, por exemplo, quando se utiliza o monômero trifuncional trimetil-propano-trimetacrilato (TMPTMA) em comparação à quantidade encontrada quando se utiliza o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA)[17].

O tipo de matriz orgânica pode ainda influenciar as tensões internas geradas durante a polimerização. Resinas de diversas formulações foram a expansão higroscópica durante a polimerização. Apresentaram menores relaxamentos pela expansão higroscópica para os materiais à base de triciclotmetano dimetacrilato (autopolimerizáveis), devido à sua natureza mais hidrofóbica e saturada. Para os materiais a base de Bis-GMA/TEGDMA e UDMA (fotopolimerizáveis), a tensão de contração de polimerização foi significativamente diminuída.[18].

O grau de conversão, o conteúdo inorgânico e a composição da matriz orgânica têm influência direta sobre a resistência das resinas compostas. Para as resinas compostas fotopolimerizáveis a utilização do Bis-GMA como monômero principal fornece maior resistência. Porém a alta viscosidade do Bis-GMA deve ser diminuída por intermédio da mistura com monômeros dimetacrilatos de menor peso molecular, de modo a obter consistência favorável à incorporação de carga. Os monômeros mais freqüentemente utilizados como diluentes são o EGDMA (etileno glicol dimetacrilato) e o TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato) A utilização em grande concentração de TEGDMA como diluente ajuda a aumentar o grau de conversão da resina composta, porém gera um aumento na contração de polimerização. [19,20].

Decisivamente, a contração de polimerização é um dos fatores que determinam a longevidade de restaurações com compósitos. A extensão da contração de polimerização depende, entre outras coisas, do peso molecular e da funcionalidade do monômero. Desta forma, o volume dos grupos aromáticos da parte central da molécula de Bis-GMA causa barreiras à rotação ao redor das ligações, resultando na diminuição do grau de conversão. Assim, a resistência, a dureza e certamente outras propriedades mecânicas são influenciadas não apenas pelo grau de conversão, mas também pela natureza das unidades monoméricas que formam o polímero. A natureza polar das resinas metacrílicas resulta em absorção de água do meio bucal, o que causa enfraquecimento da matriz resinosa, desunião entre matriz e partícula, degradação hidrolítica das partículas com subsequente redução nas propriedades mecânicas[16,18,20].

No intuito de minimizar a sorção de água, homólogos do BIS-GMA foram desenvolvidos como o Bis-EMA (Bisfenol A-etileno metacrilato), onde a hidroxila foi eliminada. Um outro grupo de monômeros que têm sido utilizado na fabricação de compósitos restauradores odontológicos é o UEDMA (uretano etil dimetacrilato). Este monômero pode ser usado sozinho ou em combinação com o

Bis-GMA ou TEGDMA. As vantagens atribuídas ao UEDMA são menor viscosidade, maior flexibilidade da terminação uretano e alto peso molecular, além do elevado grau de conversão. Outros monômeros vêm sendo desenvolvidos e estudados na tentativa de se obter um material que supra todas as necessidades clínicas. Embora o desempenho de um compósito seja o resultado da inter-relação entre todos os componentes presentes no material, uma mudança no sistema de monômeros pode resultar em significativa melhora em suas propriedades e no desempenho, bem como na expansão de suas indicações clínicas[18].

Condon e Ferracane[21] mediram a magnitude das forças de contração de polimerização de diversos materiais odontológicos resinosos e avaliaram o efeito de um monômero, derivado do metacrilato álcool estireno-alil, ou MSAA, na redução da contração. Neste estudo, as tensões máximas geradas em diferentes resinas compostas existentes no mercado e uma série de resinas compostas experimentais foram testadas. A introdução do MSAA reduziu em 30% as forças de contração de polimerização das resinas experimentais, mostrando que monômeros com menor contração de polimerização induzem a ocorrência de menores forças de contração melhorando o prognóstico da interface adesiva.

### **Agentes Iniciadores ou Ativadores**

Os iniciadores são agentes químicos que quando excitados dão início ao processo de polimerização. Em sistemas quimicamente ativados à base de BIS-GMA o peróxido de benzoila é o principal agente iniciador, e é geralmente ativado por uma amina aromática terciária a qual segmenta o peróxido de benzoila em radicais livres[22].

Nos sistemas fotopolimerizáveis, uma luz visível com comprimento de onda entre 420 a 450 nm, excita as canforoquinonas, ou uma diquetona, ocasionando a formação de um complexo de estado ativado com o agente redutor (amina

terciária) propiciando a formação de radicais livres e o início da polimerização[23, 24].

O estudo comparativo entre resinas compostas fotoativadas e ativadas quimicamente, mostra que a única diferença entre elas, reside no sistema catalítico – elementos ativadores e iniciadores. Semelhanças nas propriedades físicas e mecânicas das resinas são observadas após adequada polimerização[25].

A profundidade de polimerização das resinas também foi estudada, contudo a dependência a diversos fatores não permitiu um consenso sobre valores e métodos de avaliá-la. Sugere-se ainda, que todos os materiais sejam fotopolimerizados em camadas com cerca de 2mm de espessura, e por determinado tempo. Estas condições dependem da unidade ativadora, devido as diferenças existentes, principalmente, quanto a intensidade de luz dos diversos modelos oferecidos no mercado[23,24,25].

Chung e Greener[26] estudaram o grau de conversão de sete resinas compostas fotopolimerizáveis para uso em dentes posteriores. O grau de conversão variou entre 43,5% e 73,8%. Mesmo com estruturas moleculares diferentes, as resinas compostas apresentaram valores de conversão equivalentes, sendo outros parâmetros, como concentração de diluente e iniciador, mais importantes para estabelecer o grau de conversão.

### **Partículas de Carga**

A adição de carga tem por objetivo aumentar a estabilidade dimensional da matriz resinosa e melhorar suas propriedades mecânicas. Misturadas à matriz o primeiro efeito é a redução de contração de polimerização (só por diminuir a quantidade de matriz resinosa em um certo volume). Outros benefícios são: menor sorção de água e menor coeficiente de expansão térmica, aumento da rigidez ou maior módulo de elasticidade[15, 22].

As partículas de quartzo e vidro são as mais utilizadas, sendo fornecidas em diferentes tamanhos por um processo de moagem. O quartzo é duas vezes mais duro e menos susceptível à erosão do que o vidro, além de propiciar melhor adesão aos agentes de cobertura. Além destas, outras partículas de carga também são utilizadas, como as diminutas de sílica, com 0,05mm em tamanho, obtidas por meio de processos pirolíticos (queima) e de precipitação (sílica coloidal)[15].

Wolter[27] relacionou diversas características referentes a uma nova classe de materiais, o Omocer, contendo uma cerâmica organicamente modificada. Este compósito apresenta matriz inorgânica (rede de silício – oxigênio) em combinação com monômeros metacrilatos. Partículas de carga de tamanhos específicos ( $< 0,3 \mu\text{m}$ ) podem ser incorporadas ao Omocer, em volume superior a 67% durante a fabricação de compósitos. A incorporação de carga resulta na redução do valor de contração volumétrica, que passa de 2 a 8% no Omocer desprovido de carga para, 1 a 3% quando este é acrescido de partículas de carga.

A contração é uma propriedade, que ocorre como consequência de uma reação química, e é inerente ao material restaurador resinoso. As resinas compostas apresentam matriz orgânica que contrai  $10 \pm 2\%$  em volume, e carga inorgânica que não contrai. A literatura afirma que, quanto mais carga é adicionada ao material polimérico, menor será a contração resultante da resina composta. Afirma-se, ainda, que a técnica de polimerização conhecida como pulso tardio reduz, mais do que qualquer outra técnica, a tensão de contração, pois aumenta de uma maneira eficiente a fase pré-gel da resina, onde o material pode escoar e aliviar a tensão de contração[10,28].

### **Agente de Cobertura ou de União**

O agente de cobertura é o material responsável pela união das partículas de carga à matriz resinosa. Este fator é muito importante pois propicia uma

transferência de tensões da fase que se deforma mais facilmente (matriz) para a fase mais rígida (carga). Em geral o agente de cobertura proporciona o aumento da estabilidade hidrolítica já que previne a penetração de água na interface resina/carga[3,6,15].

Pelo fato de pertencerem ao grupo organo-silano. Os agentes de união são frequentemente denominados de silano, estes agentes quando hidrolizados apresentam grupos silanóis os quais se unem aos silanos da superfície das partículas de carga por ligações siloxanas[6].

Os organo-silanos em resinas restauradoras apresentam uma característica de moléculas bipolares, com grupos metacrilatos, capazes de formar ligações covalentes com a resina durante o processo de polimerização, propiciando uma adequada interface resina/partícula[6]. A estrutura química de um organo-silano está representada na Figura 2.

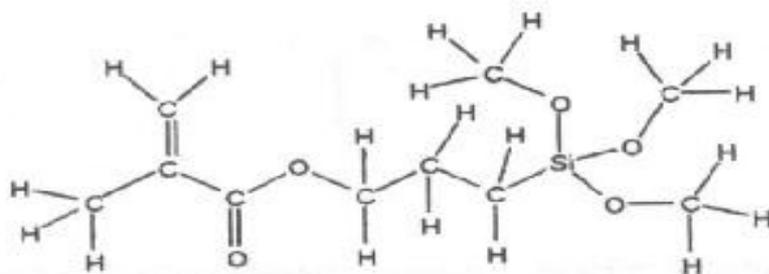


Figura 2: Estrutura química de um organo-silano ( $\gamma$ -metacriloxipropiltrimetoxi)

Ferracance[29] determinou a redução da tensão de polimerização das resinas através da adição de micropartículas não adesivas. Para isso, foram adicionadas a uma resina contendo partículas pequenas, três tipos de micropartículas: silanizadas com silano funcional, silanizadas com um silano não funcional e não silanizadas. Os resultados mostraram que, na resina, a adição de micropartículas tratadas com um silano não funcional reduziu em 50% a tensão de polimerização, enquanto que a adição de micropartículas não silanizadas não

reduziu a tensão. Na resina composta de partículas pequenas, a inclusão de micropartículas não silanizadas produziram uma redução de 30% quando comparadas com as micropartículas silanizadas, enquanto que as micropartículas tratadas com silano não funcional não reduziram a tensão de contração. Afirmou-se que a contração de polimerização de resinas compostas podem transmitir altos níveis de tensão às superfícies dentais às quais estão aderidas e que essa contração pode levar a falha na formação de uma ligação adesiva com a superfície dental. Micropartículas que não são aderidas à matriz resinosa podem proporcionar sítios para alívio das tensões internas, reduzindo a tensão de contração das resinas compostas.

### **2.1.2 Classificação das Resinas**

#### **Classificação pelo sistema de ativação[22]**

Existem inúmeras classificações de acordo com diferentes critérios[5,22]. De acordo ao sistema de ativação podem ser:

- ⇒ Quimicamente ativadas ou autopolimerizáveis;
- ⇒ Fisicamente ativadas ou fotopolimerizáveis;
- ⇒ De cura dual, ou “presa dual” (química e física); e
- ⇒ Termicamente ativadas.

As resinas termoativadas são amplamente utilizadas na confecção de próteses (dentaduras). As resinas de cura dual não apresentam resistência nem estética satisfatória para serem utilizadas como material restaurador, por isso sua aplicação é limitada a preenchimento de cavidades muito amplas ou restauração de dentes decíduos. As resinas utilizadas como material restaurador são as autopolimerizáveis e fotopolimerizáveis. Esses dois tipos de resinas têm vantagens e desvantagens biológicas[22].

Existem controvérsias quanto à contração de polimerização. Para alguns autores as resinas autopolimerizáveis apresentam contração de polimerização mais uniforme e de menor magnitude em função de seu menor grau de conversão, enquanto os sistemas fotoativados apresentam maior contração de polimerização[30]. Para outros as resinas autopolimerizáveis apresentam maior contração de polimerização quando comparados as fotopolimerizáveis que apresentam limitações quanto à conversão uma vez que a intensidade de luz diminui durante a penetração na massa do material, prejudicando a polimerização[31]. Além disso, as tensões formadas durante o processo de polimerização são menores para os materiais autopolimerizáveis que apresentam um aumento lento no módulo de elasticidade o que favorece o fluxo interno e escoamento do material durante a polimerização[32,34].

Outro fator importante é quanto a adaptação das margens das restaurações. Os materiais fotopolimerizáveis tendem a se separar das paredes das margens cavitárias. Métodos alternativos de inserção, como técnica incremental e bases de cimento, têm diminuído essa tendência, mas não tem solucionado o problema completamente. As resinas fotopolimerizáveis também podem fraturar a margem de esmalte friável, fato que não acontece com as resinas auto-polimerizáveis, porém, isto pode ser resolvido com a utilização de biseis. Um outro aspecto são as restaurações de dentes anteriores, onde a estabilidade e a variedade da cor são muito importantes, e onde uma melhor performance está associada com as resinas fotopolimerizáveis. Já nas restaurações dos dentes posteriores, um ponto importante é a resistência ao desgaste, que vem sendo resolvido através da incorporação de carga em alta concentração nas resinas fotopolimerizáveis[33].

### Classificação pelo tamanho da partícula

A classificação de acordo com o tamanho das partículas está representada no Tabela 1[3,35,36,37]:

Tabela 1 – Classificação das resinas segundo Phillips

Classificação	Convencionais	Partícula pequena	Micropartícula	Híbrida	Microhíbrida
Tamanho	8 a 12 $\mu$ m	5 a 8 $\mu$ m	0,04 a 0,5 $\mu$ m	4 a 12 $\mu$ m	0,04 a 4,5 $\mu$ m

A forma da partícula de carga parece não influenciar na conversão dos monômeros, pois o espalhamento de luz não é dependente da forma e sim do tamanho da partícula de carga. Quando o tamanho da partícula é maior ou igual ao comprimento de onda da luz incidente, há o aumento do espalhamento de luz e conseqüente redução da transmitância de luz na amostra, reduzindo a conversão[38,39].

Em um outro estudo o aumento da quantidade de carga causou aumento da conversão de monômeros. Os pesquisadores associaram o aumento da conversão ao múltiplo espalhamento de luz no interior do compósito, porém não analisaram o espalhamento em função do tamanho das partículas de carga[40,41].

## 2.2 TÉCNICA DE INSERÇÃO

Um dos grandes desafios para os pesquisadores e que tem mobilizado grande parte das pesquisas em materiais restauradores, é a busca de um material que tenha estabilidade dimensional e ótima adaptação marginal, o que impediria ou diminuiria a infiltração marginal, evitando deste modo, a ocorrência de cáries secundárias. Estes aspectos, juntamente com a baixa resistência mecânica, talvez sejam as maiores limitações à longevidade e ao bom desempenho clínico das resinas compostas atualmente disponíveis[6,15,42].

Frente a essas dificuldades, o clínico tem lançado mão de algumas técnicas de inserção por incrementos. Segundo alguns autores, a inserção por incrementos, diminui a contração de polimerização e a tensão residual gerada; aumenta as propriedades mecânicas; e diminui a micro-infiltração ou infiltração marginal[6,15,43].

### 2.2.1 Contração de polimerização

Os compósitos à base de Bis-GMA apresentam contração volumétrica em decorrência da reação de polimerização. Esta contração ocorre devido à aproximação dos monômeros quando há o estabelecimento de ligações covalentes entre os grupos metacrilato[44].

Clinicamente quando o compósito contrai aderido às paredes cavitárias, ocorre o desenvolvimento de tensões na interface dente/compósito. Se as tensões geradas forem maiores do que a resistência de união, ocorrerá o rompimento da interface, o que pode acarretar o surgimento de micro-infiltração, dor pós-operatória, manchamento da restauração e cáries recorrentes[45]. Durante os procedimentos restauradores, fatores como tamanho da cavidade, tratamento da

superfície dentinária, tipo de sistema restaurador adesivo, técnica de aplicação e técnica de inserção do material podem determinar a longevidade das restaurações de resina composta, sendo este último um fator fundamental na integridade das restaurações[44].

As restaurações de resina composta são particularmente afetadas por fenômenos decorrentes de sua inevitável contração de polimerização. Quando suspensas em líquido, por exemplo, as resinas compostas contraem-se livremente, reduzindo seu volume original em cerca de 2 a 4% dependendo de sua composição. Quando inseridas a uma cavidade e associadas a técnicas adesivas, essa contração gera tensões que vão se concentrar nas interfaces adesivas dente/restauração, podendo causar ruptura da união e determinar o aparecimento da infiltração marginal[45].

A tensão gerada na interface é afetada pelo Fator-C ou Fator de configuração cavitária, que é representado pela proporção entre a área de superfície aderida e a área de superfície livre de uma restauração, e tem exercido grande influência na determinação das tensões geradas nas interfaces adesivas. Acredita-se que quanto maior for essa proporção, maiores serão as tensões geradas nas interfaces adesivas, comprometendo a qualidade da união e do selamento marginal[46].

Recentemente, tem-se demonstrado que a cinética de polimerização da resina composta também pode determinar variações nas tensões de contração geradas na interface. As resinas fotopolimerizáveis reagem mais rapidamente que as autopolimerizáveis. Quanto mais rápida a polimerização, menor o tempo disponível para ocorrer o relaxamento da massa de resina, determinando, para as resinas fotopolimerizáveis, uma maior tensão de contração a ser transferida para a interface adesiva. A polimerização utilizando as técnicas de inserção incremental (múltiplos incrementos pequenos) tem sido apontada como um recurso operatório para reduzir a contração de polimerização das resinas fotopolimerizáveis. Nessa

técnica, a redução do volume de resina a ser polimerizado por incremento é também determinante na redução das tensões de contração geradas nas interfaces[46,47].

Eick e Welch[48] determinaram o efeito da técnica de inserção sobre a contração de polimerização nas restaurações de resina composta, utilizando a técnica de incremento único e duas técnicas incrementais. Na primeira técnica incremental, a resina foi colocada desde a superfície gengival até a oclusal em incrementos horizontais. Na segunda técnica incremental, a resina foi aplicada primeiramente à superfície bucal ou lingual. Os autores testaram a hipótese de que não existe diferença estatisticamente significativa na qualidade de contração de polimerização, número de trincas ou rachaduras, ou bolhas de ar na resina composta na interface dente-restauração, e que esses fatores são independentes da técnica de inserção utilizada. Os resultados foram analisados através de microscopia eletrônica. Quando se utilizou a primeira técnica incremental (horizontal), houve excelente contato na parede gengival, embora as superfícies bucal e lingual se apresentassem com trincas ou rachaduras, tanto em esmalte quanto em dentina. Quando se utilizou a segunda técnica incremental, com a resina aderida as paredes bucal e lingual, gerou-se melhor adaptação e a menor contração de polimerização que em qualquer uma das três técnicas utilizadas. A estrutura dental e faces do dente estão representadas nas figuras 3 e 4.

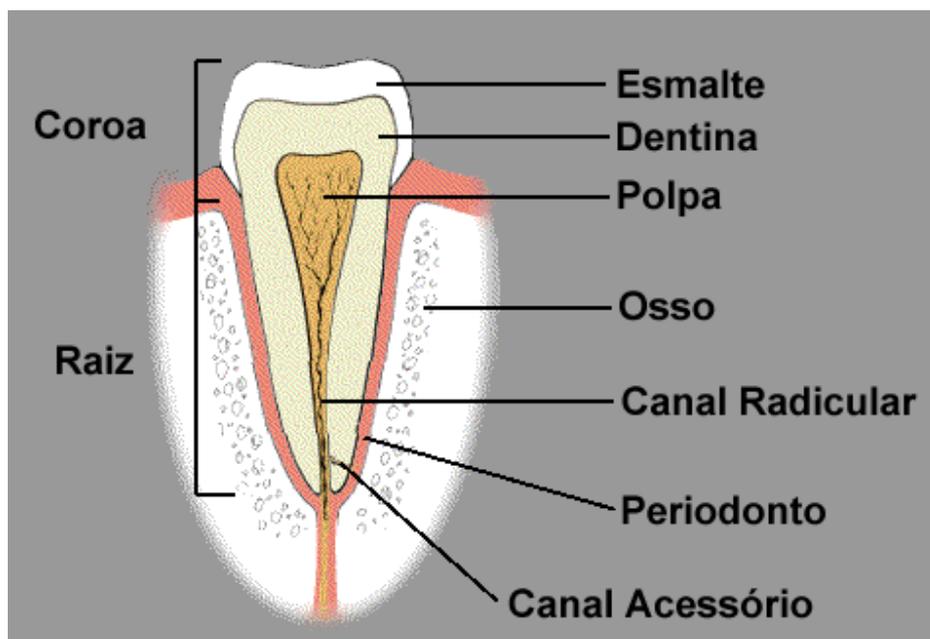


Figura 3 – Dente e suas estruturas de suporte

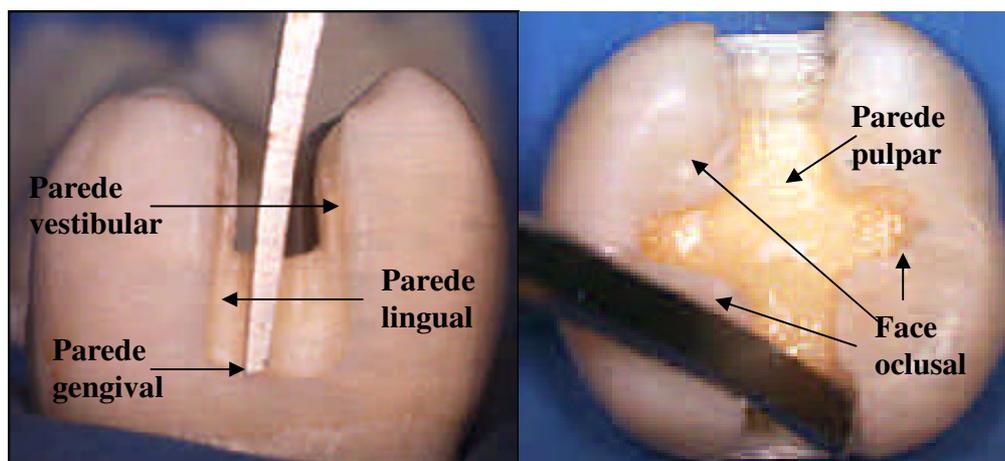


Figura 4 – Nomenclatura das paredes de um preparo para restauração

Versluis *et al*[49] avaliou o uso da técnica incremental da resina composta como forma de diminuir a tensão gerada durante a contração de polimerização. Questionaram a técnica incremental em função da possibilidade desta técnica não diminuir a tensão de polimerização do material. Os autores analisaram

numericamente o desenvolvimento dos campos de tensão para diferentes técnicas incrementais. Os resultados sugerem que a técnica incremental produziu efeitos de contração de polimerização e tensão maiores que a técnica do incremento único. Concluíram que a técnica incremental pode ser necessária em função de outras razões, mas não aos efeitos da contração de polimerização[49].

A polimerização da matriz resinosa produz a geleificação onde o material restaurador é transformado de uma fase visco-plástica para uma fase rígido-elástica. O ponto de geleificação foi definido como o momento no qual o material não pode prover mais um fluxo viscoso que acompanhe a contração de polimerização. A tensão de contração de polimerização pode ser visto como o mecanismo que é responsável por problemas com as restaurações adesivas e pode causar a separação do material restaurador da cavidade ou fraturas coesivas em uma das estruturas. A magnitude da tensão de contração é dependente também das propriedades do material restaurador. Os materiais mais rígidos causam maior tensão de contração. A compensação da tensão residual pode ser conseguida ao permitir a contração livre do material em direção da interface adesiva, evitando incrementos de resina que aderem às paredes opostas, ou pela utilização de bases cavitárias para a melhor distribuição das tensões na restauração. Conclui-se que, no momento, não existem métodos de manipulação de restaurações descritos que garantam uma restauração à prova de falhas, de forma que o profissional deve considerar o problema da contração de polimerização e das tensões geradas[50].

Alster *et al*[51] realizaram um trabalho no qual afirmaram que, o valor de contração de polimerização é dependente do dispositivo em que é medido. A concordância dos dispositivos utilizados foi calculada com a ajuda de análise de regressão não linear, usando uma equação da lei de Hooke como modelo. Os resultados mostraram que os valores de contração diminuíram com o aumento da altura dos corpos de prova cilíndricos de resina composta.

Salgado[52] em 2004 dissertou sobre a avaliação da contração de polimerização de uma resina composta fotopolimerizável de uso universal, variando-se a técnica de inserção do material na cavidade em incremento único ou três incrementos oblíquos, medida por picnômetro a gás. Para obtenção das amostras, foi fabricada uma matriz metálica em formato cilíndrico. O picnômetro utilizado permite medições rápidas e fiéis do volume da resina composta antes e após a fotoativação. Os resultados mostraram que houve diferenças estatisticamente significantes na variação da técnica de inserção do material sobre a contração de polimerização. O autor concluiu que a técnica incremental apresentou maior contração de polimerização que a técnica de incremento único. Afirmou ainda que os resultados obtidos pelo picnômetro a gás, são mais precisos por utilizar gás inerte que não contamina a amostra.

### **2.2.2 Propriedades mecânicas**

A inserção do material restaurador em incrementos além de reduzir a microinfiltração, também colabora para adequada polimerização das resinas fotoativadas, o que gera um material com maior resistência a fratura[53,54,55].

A incorporação de carga inorgânica nos compósitos tem um papel importante na diminuição da porcentagem de contração volumétrica, e o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas e resistência ao desgaste. Vários estudos mostraram que a porcentagem de carga tem grande influência sobre as propriedades mecânicas dos compósitos, como resistência à flexão e o módulo de elasticidade[56.57].

Além da quantidade de carga, o grau de conversão é um outro fator que interfere na contração volumétrica e no módulo de elasticidade dos compósitos. Um alto grau de conversão é desejável clinicamente, pois está diretamente relacionada às propriedades mecânicas do material. Porém um maior grau de

conversão significa um maior número de ligações intermoleculares na rede polimérica e, conseqüentemente, a contração de polimerização do compósito se torna maior[58].

Rueggeberg, Caughman e Curtis[59] avaliaram os efeitos da intensidade de luz e duração da exposição sobre o grau de conversão das resinas compostas, variando-se a espessura da amostra. Os resultados mostraram que não houve diferenças no grau de conversão na superfície das amostras, mas a intensidade de luz e tempo de exposição para as amostras com espessuras de 1mm, 2mm, e 3mm foi significativamente afetado. Segundo o autor, o tempo de exposição de 60s deve ser empregado, com fonte de luz de pelo menos 400mW/cm<sup>2</sup> e incrementos de 1 a 2mm.

Unterbrink e Muessner[60] investigaram o efeito da variação da intensidade de luz na integridade das margens e nas propriedades físicas da resina composta. As amostras foram ativadas usando-se as intensidades de luz de 450mW/cm<sup>2</sup> ou 250mW/cm<sup>2</sup>, e tempo de exposição igual a 40 segundos. Ficou determinado que a variação da intensidade de luz não interferiu nas propriedades físicas finais dos sistemas restauradores, a uma profundidade de 4,5mm.

### **2.2.3 Microinfiltração**

Alguns parâmetros, como o uso de incrementos para reduzir o volume de resina a sofrer contração e a contração das resinas em direção à luz, nortearam o desenvolvimento de muitas técnicas para inserir o material. A partir de então, alguns estudos compararam a técnica para inserção em bloco único com várias técnicas de múltiplos incrementos. Os resultados obtidos pela análise da infiltração marginal se mostraram mais favoráveis às técnicas incrementais[61,62,63].

Certos estudos observaram que a tensão de contração está relacionada com o tamanho da cavidade a ser preenchida ou o incremento de resina a ser

polimerizado (fator de configuração). Isto ocorre porque quanto maior for a quantidade de resina a ser polimerizada, maior será a tensão de contração de polimerização. Como decorrência deste conceito, alguns autores acreditam que a técnica de inserção incremental (pequenas camadas de resina) ajudaria a manter a integridade da interface dente/restauração, pois o fator de configuração de cada incremento seria menor do que o fator de configuração da cavidade como um todo[64,65].

Lutz; Krejci e Oldenbug[66] pesquisaram o conceito de que as resinas contraem-se em direção à fonte de luz e que a contração está diretamente relacionada com o volume do incremento. Objetivando uma melhor adaptação marginal, idealizaram uma nova técnica restauradora para as caixas proximais das cavidades. Nessa técnica, o primeiro incremento foi inserido no terço cervical da caixa proximal e fotopolimerizado através de uma cunha refletiva; o segundo incremento foi colocado nos dois terços da parede vestibular fotopolimerizado através desta mesma parede, e o terceiro incremento, de volume menor que o segundo, foi colocado na parede lingual através da qual foi fotopolimerizado. A caixa oclusal da cavidade foi restaurada e fotopolimerizada por oclusal. Aos espécimes assim restaurados foram submetidos à ciclagem térmica e mecânica, nas superfícies proximais foram analisadas com um microscópio e o selamento marginal avaliado através de medição da infiltração do corante nas margens cavitárias. Os autores concluíram que a nova técnica de inserção e fotopolimerização da resina apresentou um comportamento adequado, proporcionando um melhor selamento marginal e diminuição da infiltração. O trabalho ressalta também que futuros avanços da resistência adesiva, na resina composta, à esmalte ou dentina não resolverão o problema da adaptação marginal, porque as tensões geradas pela contração de polimerização da resina composta podem, em muitos casos, superar as forças de união dos tecidos duros. Os autores comentaram também que é de responsabilidade do cirurgião-dentista tentar superar as propriedades desfavoráveis dos materiais atuais, através do uso de técnicas e procedimentos sofisticados.

A pequena adaptação marginal e a microinfiltração são atribuídas à contração de polimerização das resinas compostas, podendo afetar o prognóstico de restaurações de resina composta em dentes posteriores. Com a introdução do ataque ácido, a questão da infiltração marginal nas margens de esmalte foi amplamente resolvido, entretanto, a adesão de resina composta a dentina ainda se apresenta problemático, pois as forças de união não são resistentes às forças de contração de polimerização, causando o rompimento da interface adesiva. Para tentar diminuir esses efeitos adversos da contração de polimerização, empregaram-se mudanças no desenho da cavidade as quais passaram de cavidades com conformação retentiva, as mesmas utilizadas para restauração de amalgama, para cavidades adesivas, nas quais o preparo cavitário se limita a eliminação do tecido cariado, confecção do bisel e arredondamento dos ângulos internos. A dimensão da cavidade é então limitada quase que ao tamanho da broca. Além disso, técnicas de inserção por incrementos e selantes de superfície passaram a ser utilizados. Entretanto, considera-se que falta muito a pesquisar até o desenvolvimento pleno de uma resina composta que não sofra contração de polimerização[67].

Alguns autores comparam os efeitos de diferentes técnicas de inserção por incrementos na extensão da microinfiltração nas margens de restaurações de resina composta. Para alguns nenhuma das técnicas de inserção é capaz de prevenir uma extensa microinfiltração[68]. Para outros a técnica incremental apresenta menor infiltração marginal[69]. Parece razoável que outras técnicas com a intenção de prevenir a microinfiltração nas margens da resina composta sejam pesquisadas.

Uno e Asmussem[70] avaliaram os efeitos da utilização de baixa intensidade de luz seguida do uso da luz em intensidade plena, na adaptação marginal de restaurações de resina composta. Os autores concluíram que a variação de intensidade da fotoativação melhora a capacidade de escoamento do

material, gerando valores aceitáveis de resistência adesiva e compressiva à resina.

Coli e Brämstrom[71] avaliaram as fendas e a microinfiltração marginal em restaurações de resina composta de dentes posteriores, variando a técnica de inserção e o sistema adesivo. Concluíram que a qualidade do sistema adesivo tem, em condições clínicas, mais importância que a técnica de inserção, quando do controle da microinfiltração marginal.

Tjan; Klooter e Tan[72] analisaram e compararam a infiltração marginal de restaurações de resina composta. Utilizaram técnica incremental, técnica de incremento único e técnica de incremento único com pressão exercida com uma matriz. A penetração do corante foi avaliada em microscópio com aumento de 100X e categorizada em escores de 0-4. Os autores concluíram que a técnica incremental teve melhor desempenho que a técnica de incremento único, com ou sem compressão da matriz.

Idriss *et al*[73] em 2003 compararam a infiltração marginal de restaurações das resinas compostas fotoativadas e quimicamente ativadas, inseridas em múltiplos incrementos ou incremento único. Observou-se que as restaurações fotopolimerizáveis, independente da técnica de inserção, apresentaram maior formação de fendas marginais quando comparadas às amostras restauradas com resina quimicamente ativadas.

Lopes *et al*[74] em 2004 avaliaram a morfologia da interface dente-restauração, *in vivo*, em duas técnicas de inserção de resina composta em preparo de dentes posteriores. Nos dentes restaurados pela técnica incremental, a formação de frestas marginais foi de 6,1%, enquanto a técnica de incremento único apresentou 18,7% de formação de frestas. Os autores concluíram que a

técnica incremental para restaurações de resinas compostas em dentes posteriores permite melhor selamento marginal que a técnica de incremento único.

As resinas compostas fotopolimerizáveis diferenciam-se entre si pelo tamanho e quantidade de carga incorporada a sua matriz. A resina composta do tipo micro-híbrida parece ser de uso universal e a mais difundida no mercado, justamente por ser indicada tanto para dentes anteriores quanto dentes posteriores. Porém, ainda apresenta um elevado grau de contração de polimerização apesar de suas propriedades mecânicas terem sido melhoradas sensivelmente. Os profissionais parecem contar com a técnica incremental para contornar este problema. Por esse motivo se faz necessário uma análise das diferentes técnicas de inserção para avaliarmos os danos ou benefícios causados à resistência mecânica da resina composta.

### 3- MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

As resinas compostas utilizadas nesta dissertação estão listadas no Tabela 2, com as especificações fornecidas pelo fabricante. As resinas estão representadas na Figura 5.

Tabela 2 – Especificações do fabricante das resinas comerciais utilizadas

Marca comercial	Classificação*	Carga**	Tamanho médio da partícula	Matriz Orgânica	Carga ***
<b>Z100-A3,5</b> (3MESPE)	Microhíbrida	85	– μm	BisGMA/TEGDMA	Zircônio e Sílica
<b>XRV-A3,5</b> Herculite (Kerr)	Microhíbrida	79	0,6 μm	BisGMA/TEGDMA	Vidro de Borosilicato de Alumínio
<b>W3D-1M2</b> Máster (Wilcols)	Microhíbrida	78	0,5 μm	BisGMA/TEGDMA	Sílica Pirogênica, Silicato de Bário e de Alumínio
<b>TPH-A3,5</b> Spectrum (Dentsply)	Microhíbrida	80	0,5 μm	BisGMA/TEGDMA	Vidro de Bário e Sílica
<b>Fill Magic-A3,5</b> (Vigodent)	Microhíbrida	78	0,8 μm	BisGMA/TEGDMA	Vidro de Bário e Sílica

\* Quanto ao tamanho da partícula de carga

\*\* % por peso

\*\*\* Tipo de carga inorgânica

- ✓ Vaselina sólida pura Granado
- ✓ Pincel n°5
- ✓ Molde de vidro de 2 x2 x 25 mm desmontável
- ✓ Lixa especial A257 n° 150 (Norton)



Figura 5: embalagem comercial das resina utilizadas – XRV, TPH, Z100, W3D, Fill Magic (da esquerda para a direita)

### 3.2 EQUIPAMENTOS

Estão relacionados a seguir os principais equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

- ✓ Analisador Termogravimétrico – Perkin Elmer, modelo TGA série 7.
- ✓ Espectômetro de Infravermelho – Perkin-Elmer, modelo FTIR 1720X.
- ✓ Máquina de ensaio universal, Instron, modelo 4204, equipada com célula de carga de 1KN.
- ✓ Aparelho Fotopolimerizador de luz halógena – Rhos Lux – 500mW/cm<sup>2</sup>,  
Figura 6.
- ✓ Moedor Vibrating Mill – Perkin Elmer
- ✓ Paquímetro Peacock com 0,01 de precisão
- ✓ Micrômetro Mitutoyo digital com 0,001mm de precisão
- ✓ Câmera Digital Cannon Power Shot A 410 – 3.2 Mga Pixels
- ✓ Microscópio óptico UNION Versamet II, com aumento de 500X
- ✓ Microscópio eletrônico de varredura ZEISS, modelo DMS 940A



Figura 6 – Aparelho fotopolimerizador

### 3.3- MÉTODOS

#### 3.3.1- Análise termogravimétrica

Com a finalidade de se obter informações quanto a composição percentual de componentes orgânicos e inorgânicos do material restaurador realizou-se análise termogravimétrica, utilizando um aparelho TGA Perkin-Elmer série 7, na faixa de temperatura entre 30 e 700°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min, sob atmosfera de nitrogênio.

Esta análise é um processo contínuo que envolve a medida da variação da massa em função da temperatura, pois com o aquecimento ocorre degradação do material, e conseqüente perda de massa, sob a forma de substâncias voláteis, e utilizando um sensor embutido no equipamento registra-se essa perda de massa que é representada por curvas termogravimétricas.

### 3.3.2- Espectrometria de Infravermelho

Para avaliação do grau de conversão do material restaurador, foi feito espectro na região do infravermelho, antes e após a polimerização do material, variando-se a técnica de inserção. Para isso utilizou-se o equipamento FTIR Perkin-Elmer, modelo 1720-X, com 20 scans e  $1\text{cm}^{-1}$  de resolução, em ausência de luz.

Para o material não-polimerizado, as amostras foram preparadas sob a forma de filme vazado, utilizando cerca de 0,5g da amostra dissolvida em clorofórmio e espalhada sobre a célula, formando uma camada fina e homogênea. Após a volatização do solvente foram utilizadas 20 varreduras, com resolução de  $1\text{cm}^{-1}$ , com comprimento de onda de 400 a  $4000\text{cm}^{-1}$ . No espectro foram registradas as absorções dos grupamentos químicos presentes na amostra, sendo selecionadas uma absorção como referência interna e outra variável, para o cálculo do grau de conversão do compósito. Foi selecionada a absorção  $1610\text{cm}^{-1}$  como referência, atribuída a ligação C=C do anel aromático, e a absorção  $1638\text{cm}^{-1}$  como variável, referente ao grupamento C=C alifático, estabelecendo uma linha base entre  $1800$  a  $1500\text{cm}^{-1}$ .

As resinas polimerizadas foram moídas no Moedor Vibrating Mill – Perkin Elmer, e transformadas em pó. O material pulverizado (aproximadamente 1 mg) foi misturado a 50 mg de KBr (brometo de potássio), e macerado em um gral até obtenção de uma mistura homogênea. A mistura foi levada a um pastilhador acoplado a uma bomba a vácuo, e submetida a uma pressão de  $350\text{Kg/cm}^2$ , onde permaneceu por 5 minutos, sendo removida e levada ao suporte do espectrômetro. As amostras polimerizadas tanto pela técnica incremental quanto pela técnica de incremento único foram preparadas do mesmo modo e todas as peças utilizadas foram limpas com clorofórmio para que não houvesse contaminação de uma amostra para outra.

No espectro de FTIR, as intensidades dos picos de absorção referentes às duplas ligações de carbono alifático e aromático são registradas antes e após a cura das amostras para determinar o percentual de duplas ligações de carbono alifático que foi reagido[38,39]. O percentual referente ao grau de conversão da amostra é dado pela Equação 1, onde os valores de C=C são obtidos em absorbância.

$$\text{Conversão (\%)} = 100 \times \left[ 1 - \frac{[(\text{C}=\text{C}) \text{ alifático} / (\text{C}=\text{C}) \text{ aromático}] \text{ curado}}{[(\text{C}=\text{C}) \text{ alifático} / (\text{C}=\text{C}) \text{ aromático}] \text{ não-curado}} \right] \quad (1)$$

Onde:

Conversão (%) – grau de conversão do material

C=C alifático (curado) – Quantidade de duplas ligações de carbono da porção alifática do material já curado

C=C aromático (curado) – Quantidade de duplas ligações de carbono da porção aromática do material já curado

C=C alifático (não-curado) – Quantidade de duplas ligações de carbono da porção alifática do material já não-curado

C=C aromático (não-curado) – Quantidade de duplas ligações de carbono da porção aromática do material não-curado

### 3.3.3- Ensaio de Flexão

O molde para confecção dos corpos de prova foi feito em vidro obedecendo as dimensões propostas pela norma ISO 4049[75] e ASTM D 790[76]. O molde desmontável, possui 2,1mm de altura, 2,1mm de largura e 25,1mm de comprimento. A Figura 7 representa graficamente do molde do corpo de prova.



Figura 7 – Representação do corpo de prova para ensaio de flexão

Para a confecção do molde foram utilizadas :

- ✓ Uma placa de vidro medindo 15x20 cm, com 2 mm de espessura que serve como base.
- ✓ Duas placas de vidro medindo 7x7 cm, com 2 mm de espessura que delimita a altura do molde
- ✓ Duas barras de vidro medindo 2 mm de altura, 2 mm de largura, 2,25 cm de comprimento, delimitando a largura do molde
- ✓ Uma placa de vidro medindo 10x3 cm, com 2 mm de espessura, posicionada na parte superior do molde.

O molde de vidro completamente desmontável, facilitava a desmoldagem sem fraturar ou danificar os corpos de prova. Além disso era utilizado como desmoldante vaselina sólida. A Figura 8 mostra o molde de vidro.

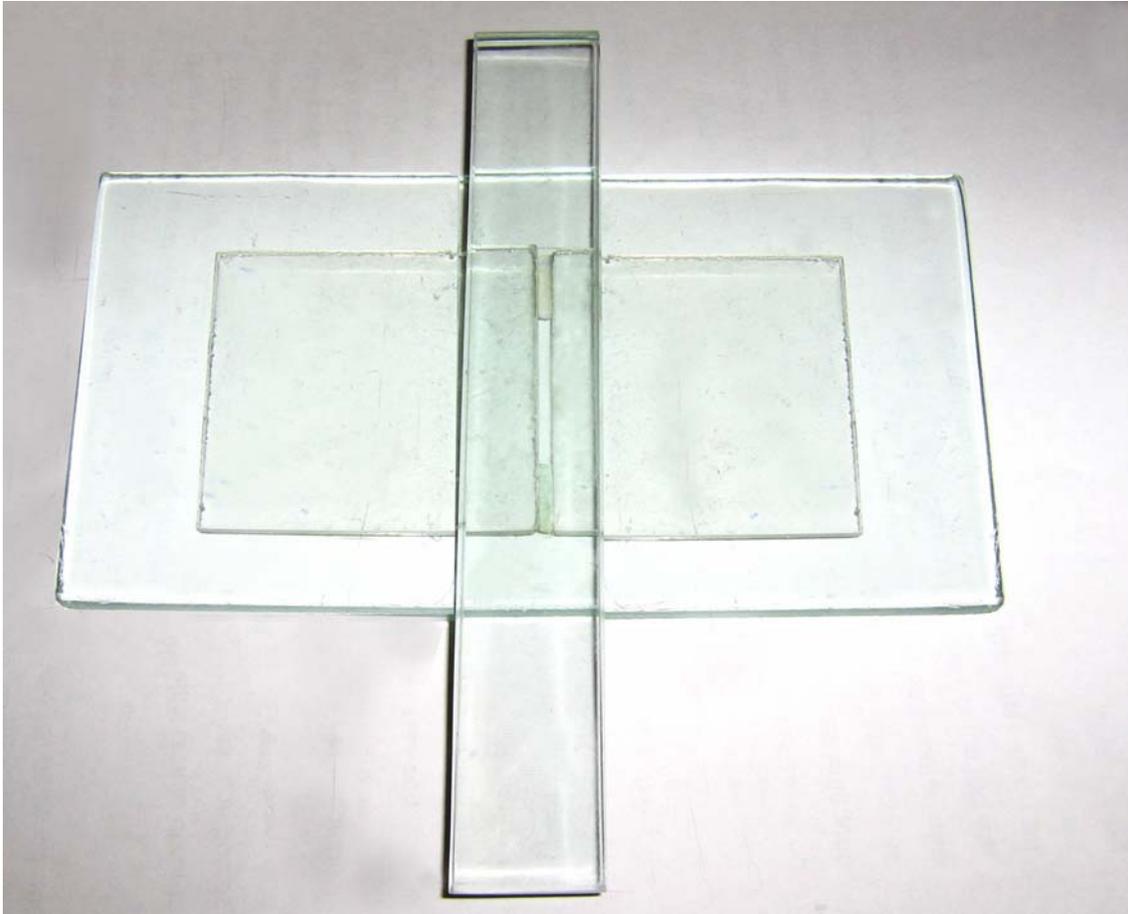


Figura 8 – molde de vidro

O material restaurador foi inserido no molde utilizando-se duas técnicas de inserção diferentes: incremento único e técnica incremental. Para cada marca comercial de resina composta foram preparados sete corpos de prova para cada técnica de inserção.

- Incremento único:

Todo o molde foi preenchido com o compósito, uma placa de vidro foi colocada sobre o molde e pressionada até o extravasamento do excesso de material. O material foi fotopolimerizado utilizando um aparelho fotopolimerizador de luz halógena com densidade de potência de  $500\text{mW}/\text{cm}^2$ . O material foi

fotopolimerizado em três pontos, mantendo a distância correspondente a espessura da placa de vidro (2mm), tanto na parte superior quanto na parte inferior do molde. Iniciou-se a polimerização pela porção central do molde por 20 segundos, e por mais 20 segundos em cada uma das suas extremidades, este procedimento foi repetido na face inferior do molde. Para cada porção foi utilizado um tempo de 20s, assim cada espécime foi fotopolimerizado por 2min. A figura 9 representa um esquema da incidência de luz sobre o molde.

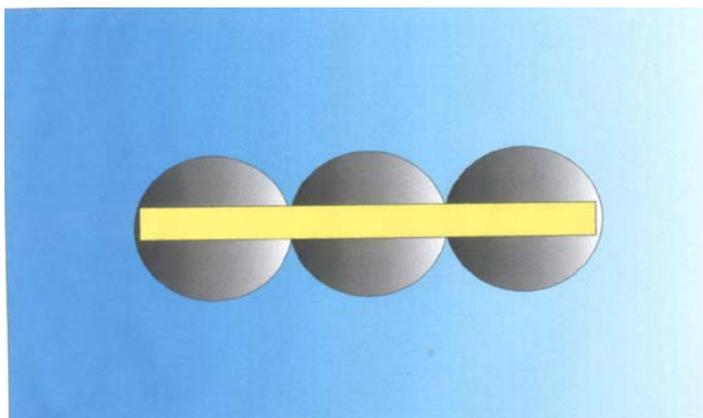


Figura 9: Esquema de polimerização do CP de Flexão. As esferas representam o alo de luz do fotopolimerizador e a barra estreita ao centro representa o CP.

- Técnica incremental:

O molde foi preenchido da seguinte maneira: um terço da extremidade direita foi inserido e fotopolimerizado por 40s. Depois o terço da extremidade esquerda foi inserido e fotopolimerizado pela parte superior por mais 40s. A porção central foi preenchida e fotopolimerizada por mais 40s. Somando um total de 2min de fotopolimerização. Em todas as etapas a placa de vidro na porção superior foi utilizada para manter a distância do foco de luz halógena. O mesmo aparelho fotopolimerizador da técnica de incremento único foi utilizado.

Os esquemas das técnicas de inserção (vista lateral) estão representados na Figura 10:



Figura 10: A- técnica de incremento único; B-Técnica incremental

A fotopolimerização foi feita em três etapas, pois o comprimento do corpo de prova mede 25mm, impossibilitando a exposição em toda superfície em uma única vez. Para a técnica de incremento único, iniciou-se a fotopolimerização pela porção central, tomou-se cuidado para minimizar a dupla exposição. Para a técnica incremental, iniciou-se pelo incremento 1 (à esquerda), depois o incremento 2 (à direita) e por último o incremento central. O experimento foi realizado em uma sala com temperatura de 24°C e umidade relativa do ar de 54%.

Depois de polimerizados, o espécimes ainda no molde foram imersos em água destilada a  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 15min. Os espécimes foram desmoldados e as rebarbas removidas com o auxílio de uma lixa d'água. Foram então devolvidos ao banho de água destilada a  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  por mais 24 h, antes de serem iniciados os ensaios.

A altura, largura e o comprimento em mm foram medidos imediatamente antes do ensaio de flexão. O ensaio de flexão de três pontos foi realizado em uma máquina de ensaio universal, Instron, 4204, com célula de carga de 1KN, a uma velocidade de 1mm/min até fraturar segundo as normas de procedimento ISO 4049 e ASTM D790[75,76]. O dispositivo confeccionado possui dois suportes cilíndricos de 2 (dois) mm de diâmetro e permite uma distancia de 20 mm entre os pontos centrais dos suportes, de acordo com a Figura 11.

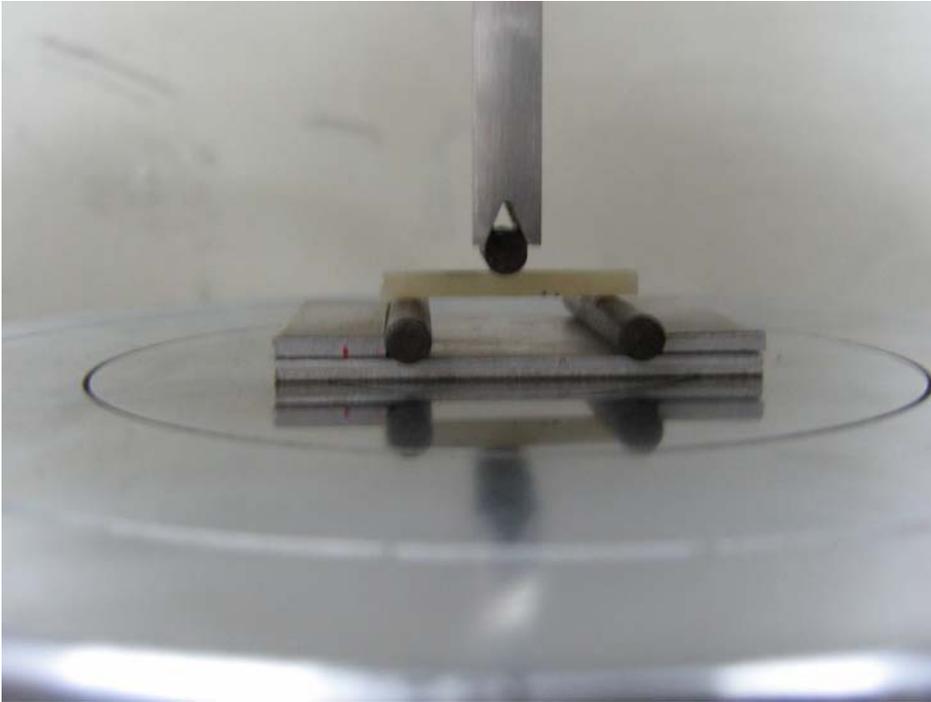


Figura 11: representação do ensaio de flexão realizado na instron

Foram obtidos valores médios de cinco das 7 amostras conforme descrito nas normas de procedimento ISO 4049 e ASTM D790[75,76]

A resistência a flexão (Tensão) foi calculada pela seguinte equação:

$$\sigma = 3FL/2bh^2 \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  - Tensão, MPa

F – Carga máxima observada para a curva de carga-deslocamento, N

L – a distância entre os suportes, mm

b – a largura do espécime, mm

h – a altura do espécime, mm

O módulo de flexão foi calculado utilizando a equação:

$$E = L^3m/4bh^3 \quad (3)$$

Onde:

E – módulo em MPa

L – a distância, em milímetros, entre os suportes

b – a largura, em milímetros, do espécime

h – a altura, em milímetros, do espécime

m – tangente da primeira porção reta da curva carga/deflexão

A deflexão foi calculada com a equação:

$$D = rL^2/6h \quad (4)$$

Onde:

D – deflexão, mm

r – deformação, mm/mm

L – a distância entre os suportes, mm

h – a altura do espécime, mm

A deformação foi calculada com a equação:

$$\varepsilon = 6Dh/l^2 \quad (5)$$

Onde:

$\varepsilon$  - deformação em mm/mm

D – deflexão, mm

h – altura do espécime, mm

L – a distância entre os suportes, mm

### 3.3.4 Contração de Polimerização

Para a avaliação da contração de polimerização, os corpos de prova foram confeccionados de maneira idêntica aos do ensaio de flexão, porém não foram submetidos a imersão por 24h.

Os corpos de prova foram desmoldados após banho em água destilada, durante 15 min, a  $37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , as rebarbas foram removidas com o auxílio de uma lixa d'água, e as medidas de altura, largura e comprimento foram imediatamente tomadas.

Foram estabelecidos 5 corpos de prova para cada técnica de inserção para todos os compósitos, o experimento foi realizado em uma sala com temperatura de  $24^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de 54%. As medidas foram feitas com o auxílio de um micrômetro Digimatic Mitutoyo, série 293 com precisão de 0,001 mm.

A partir das dimensões do molde e dos espécimes, o volume foi calculado.

A contração de polimerização volumétrica (%) foi calculada pelas equações 6 e 7[51]:

$$C_v = [(L_m b_m h_m - L_E h_E b_E) / L_m b_m h_m] \times 100 \quad (6)$$

$$C_L = [(L_m - L_E) / L_m] \times 100 \quad (7)$$

Onde:

$C_v$  - Contração volumétrica;

$C_L$  - Contração linear;

$L_m$  - Comprimento do molde, em mm;

$b_m$  – Largura do molde, em mm;

$h_m$  – Altura do molde, em mm;

$L_E$  – Comprimento do corpo de prova, em mm, medido imediatamente após o desmolde;

$h_E$  – Altura do corpo de prova, em mm, medido imediatamente após o desmolde;

$b_E$  – Largura do corpo de prova, em mm, medido imediatamente após o desmolde.

### **3.3.5 Microscopia Óptica**

Para avaliação de algumas possíveis falhas nos corpos de prova, estes foram analisados em um microscópio óptico UNION Versamet II, com um aumento de 100X. As amostras, antes e depois do ensaio de flexão, foram submetidas a microscopia óptica para comparação da aparência das superfícies dos corpos de prova. Foram visualizadas as faces laterais, superiores, assim como sua seção transversal (após a fratura). Apesar de não ser a técnica mais adequada para a visualização de falhas, foi de muita valia para a seleção da região a ser levada ao Microscópio Eletrônico de Varredura.

### **3.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

As mesmas amostras utilizadas para a microscopia óptica, foram levadas a um microscópio eletrônico de varredura ZEISS, modelo DMS 940A. Todas as amostras foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro e as micrografias obtidas a uma voltagem de 15 kV. A face lateral das amostras foi analisada no MEV com aumentos de 50, 100, 200 e 300 X. A seção transversal (após a fratura) foi analisada no MEV com aumentos de 50 e 100 X.

## 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

- **Quantidade de carga**

Esta análise permitiu avaliar a quantidade provável de material inorgânico presente no material, por intermédio da massa residual resultante da degradação térmica dos compostos.

As amostras foram divididas inicialmente em dois grupos: material não-curado e material curado. A Tabela 3 mostra a relação entre as informações fornecidas pelo fabricante e os resultados da análise de TG.

Tabela 3 – Comparação da quantidade de carga indicada pelos fabricantes com a massa residual fornecida pela análise de TG

Resina	% de carga (IFF)	Tamanho Médio em $\mu\text{m}$ (IFF)	% de Carga TG NC	% Carga TG C
Z100	85	-	81,3	81,7
XRV	79	0,6	77,4	77,4
W3D	78	0,5	75,5	77,5
TPH	78	0,5	75,2	75,7
Fill Magic	80	0,5	74,8	75,6

(IFF) – Informações fornecidas pelo fabricante; NC – Não curado; C- curado

A perda de massa observada para as diferentes resinas indicam a existência de uma boa equivalência entre os dados obtidos pela termogravimetria e os fornecidos pelos fabricantes. Em alguns, como no Fill Magic por exemplo, pequenas discrepâncias podem ser atribuídas a prováveis diferenças existentes entre os métodos de determinação do teor de carga adotado pelos fabricantes e o termogravimétrico. Caso comparássemos a massa de uma partícula inorgânica superficialmente modificada com a massa da mesma partícula após a

decomposição térmica, provavelmente encontraríamos valores mais baixos para a segunda condição. Embora, espere-se uma relativa estabilidade da partícula inorgânica, devemos contar com a possibilidade de degradação do agente de recobrimento, que em geral possui um forte caráter orgânico passível de decomposição. Portanto, materiais com maior teor de cargas do gênero podem apresentar diferenças ao compararmos o teor de carga incorporada a valores de massa residual remanescentes da decomposição térmica

A comparação dos resultados obtidos para sistemas curados e não-curados indica, aparentemente, que o processo de polimerização não influencia significativamente na quantidade de massa residual. Isto indica que as características de degradação das cargas utilizadas nos compostos não é afetado pela polimerização.

- **Degradação**

Além da quantidade de carga, pode-se obter a temperatura de degradação térmica das resinas compostas. Os estágios de degradação tornam-se menos evidentes para os materiais curados quando comparados aos materiais não-curados, como visto na Figura 12. Este fato deve ocorrer devido a uma variação na cinética de degradação entre os materiais curados e não curados, já que moléculas termorrígidas são geradas durante a polimerização.

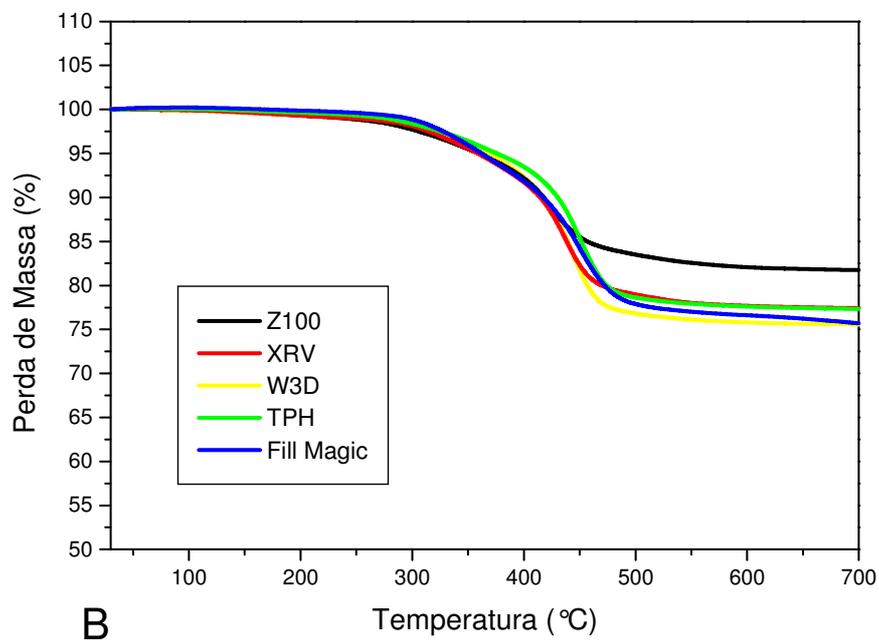
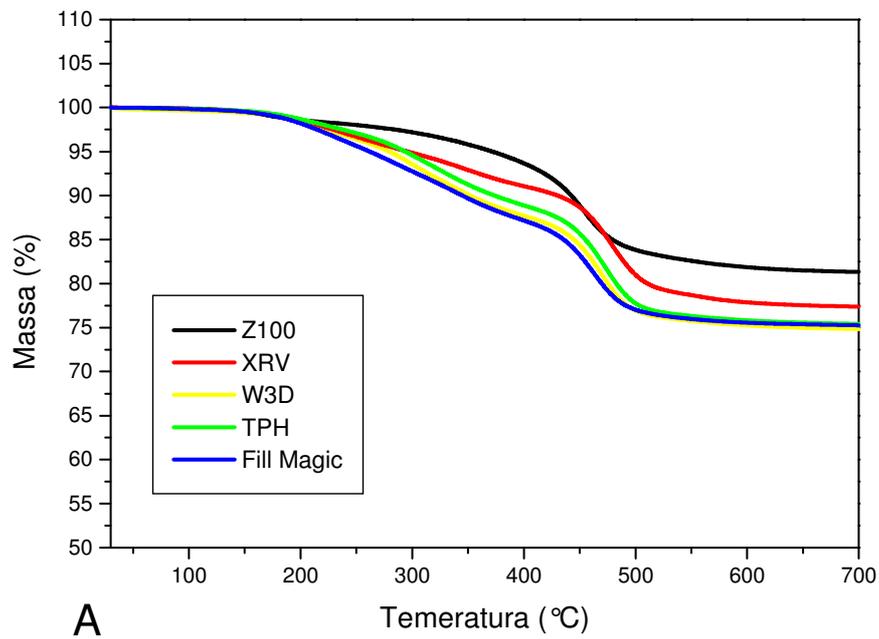


Figura 12 - A - Material não-curado; B - Material curado

As curvas termogravimétricas dos compósitos não-curados são mostradas nas figuras 13 a 17. A linha em preto representa a decomposição térmica da amostra enquanto a linha em azul representa a curva derivada, onde o máximo do pico indica a temperatura onde ocorre o máximo de decomposição da amostra. Para as curvas de material não-curado, a faixa de temperatura na qual ocorrem as perdas de massa são semelhantes. Observa-se também, dois decaimentos que podem ser atribuídos à mistura de monômeros ou a queima de apenas um monômero, em duas etapas. Observando-se a curva de derivada para o material não-curado nota-se que para resina Z100 o processo de perda de massa ocorreu em dois estágios bem definidos. Para os outros materiais a perda de massa também ocorre em dois estágios bem definidos, embora sejam identificados mais de um pico no primeiro estágio, com intensidades diferentes. Esse resultado é indicativo de que os compósitos possuem composição monomérica diferente. Na Tabela 4 está indicada a temperatura e a perda de massa ocorrida nos dois estágios de decomposição dos compósitos.

Tabela 4 – Temperatura de degradação e perda de massa do material não-curado

Resina	1° T (°C)	1° M (%)	2° T (°C)	2° M (%)	Massa Residual (%)
Z100 NC	143	0,17	397	5,53	81,29
XRV NC	155	0,03	428	10,49	77,37
W3D NC	155	0,08	426	12,76	75,46
TPH NC	167	0,09	417	14,13	75,23
Fill Magic NC	196	0,84	416	13,88	74,85

T – Temperatura do início da perda de massa; M – perda de massa.

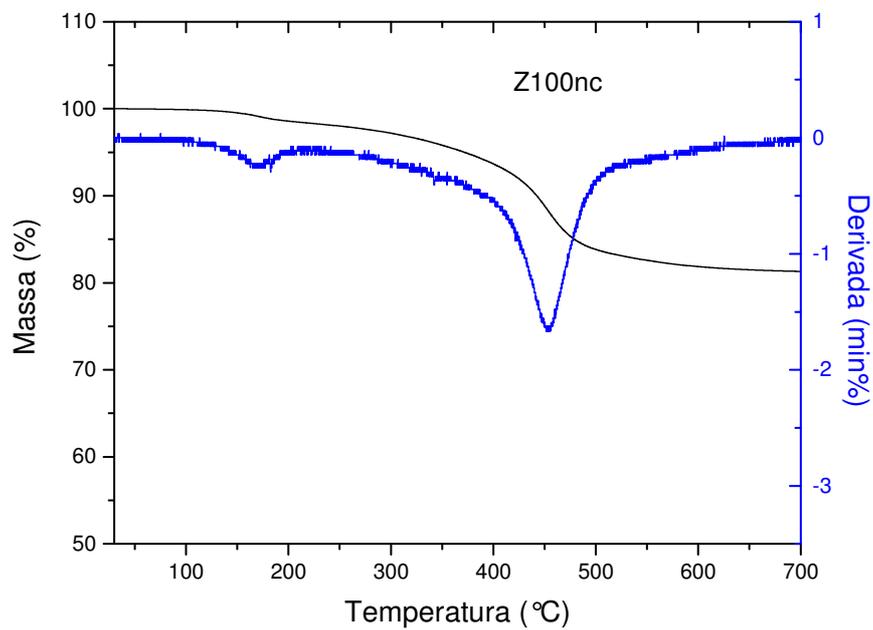


Figura 13 – Curva termogravimétrica do material Z100 não-curado

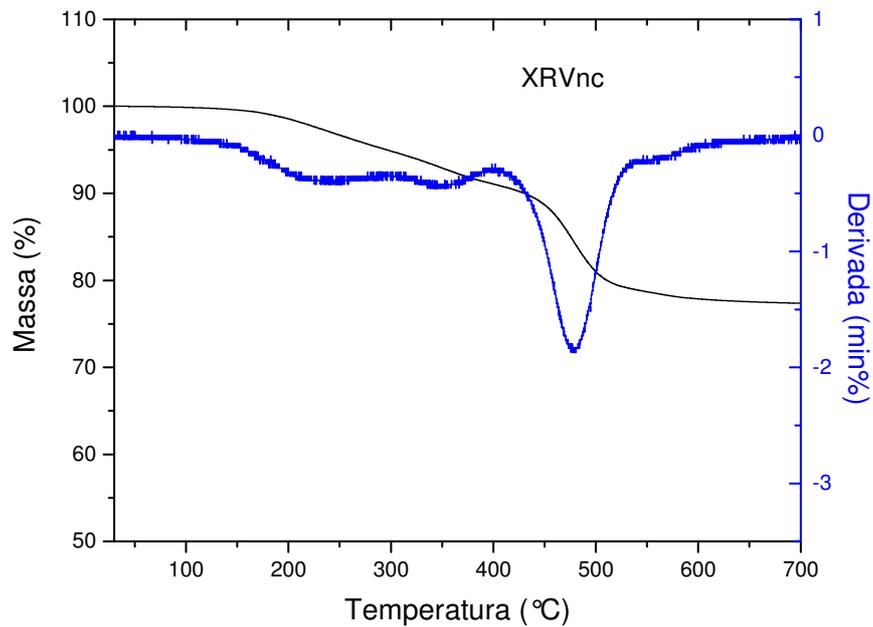


Figura 14 – Curva termogravimétrica do material XRV não-curado

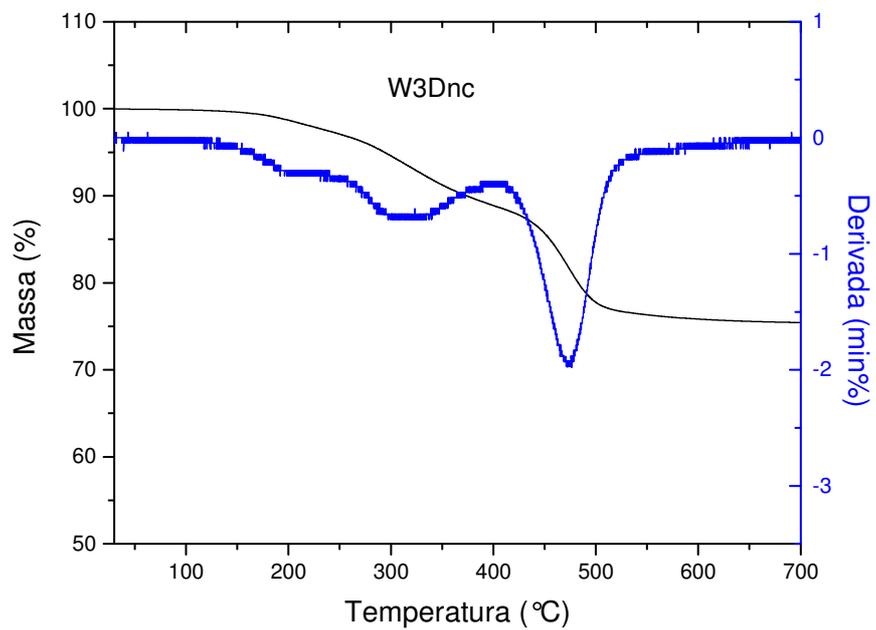


Figura 15 – Curva termogravimétrica do material W3D não-curado

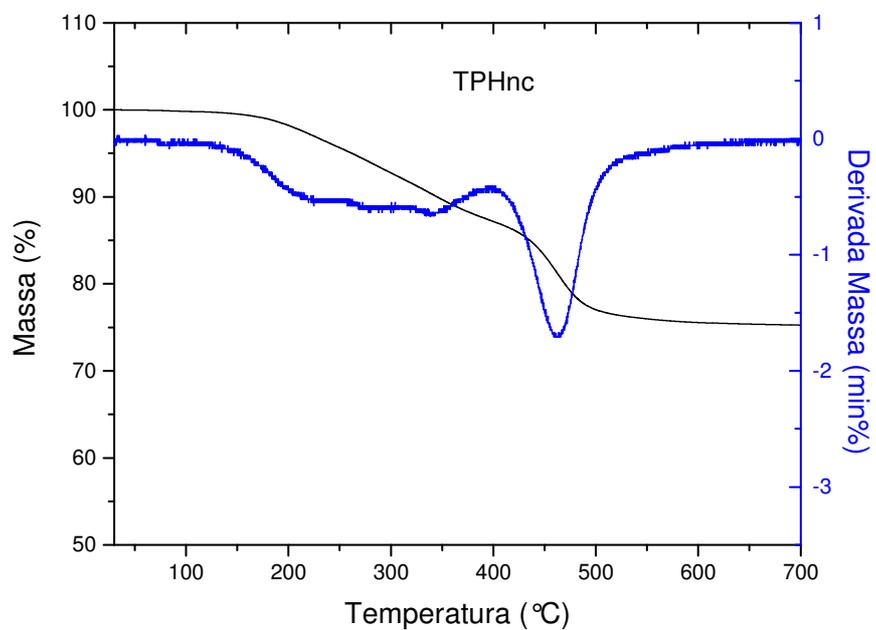


Figura 16 – Curva termogravimétrica do material TPH não-curado

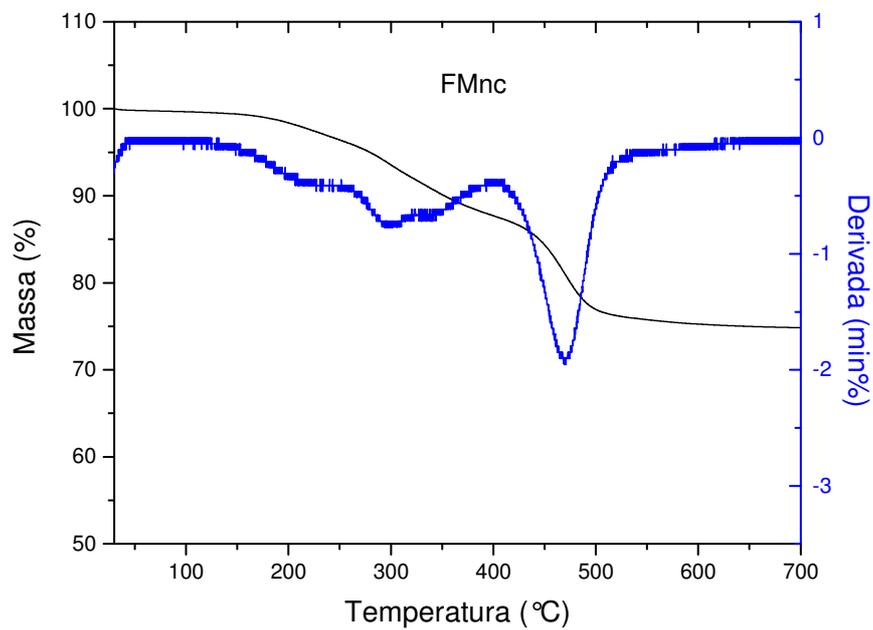


Figura 17 – Curva termogravimétrica do material Fill Magic não-curado

A influência da polimerização e reticulação sobre as temperaturas de início da degradação e perda de massa do material não-curado encontram-se registrados na Tabela 5. Observando-se as curvas termogravimétricas dos materiais curados nas Figuras 18 a 22 podemos notar que o primeiro estágio de decomposição das amostras tornou-se menos evidente para todos os compósitos o que comprova que houve uma reação de polimerização modificando a cinética de decomposição

Tabela 5 – Temperatura de degradação e perda de massa do material curado

Resina	1° T (°C)	1° M (%)	2° T (°C)	2° M (%)	Massa Residual (%)
Z100	255	0,03	389	6,99	81,75
XRV	283	1,17	401	7,86	77,43
W3D	293	0,7	425	8,02	77,34
TPH	297	0,37	416	10,03	75,68
Fill Magic	249	0,03	405	6,59	75,57

T – Temperatura do início da perda de massa; M – perda de massa.

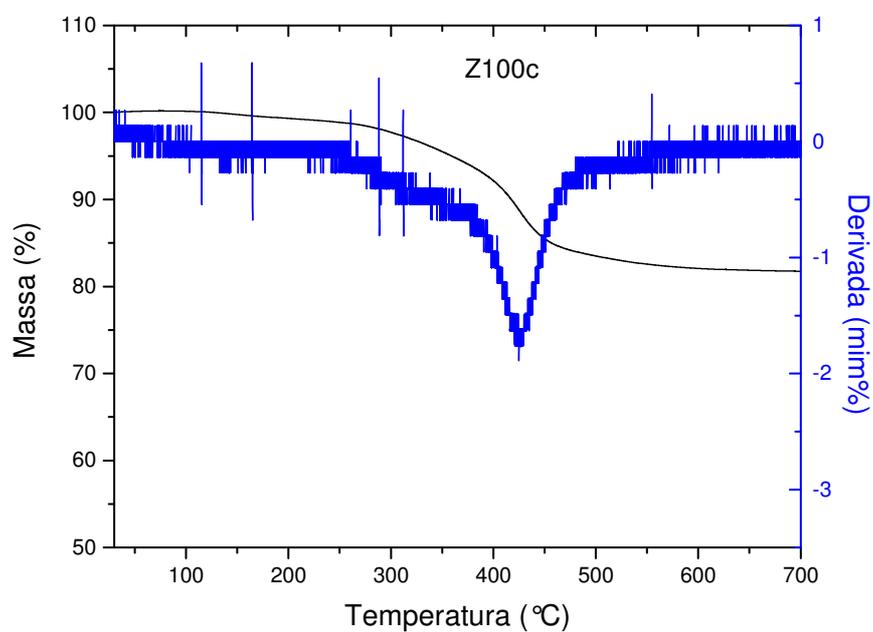


Figura 18 – Curva termogravimétrica do material Z100 curado

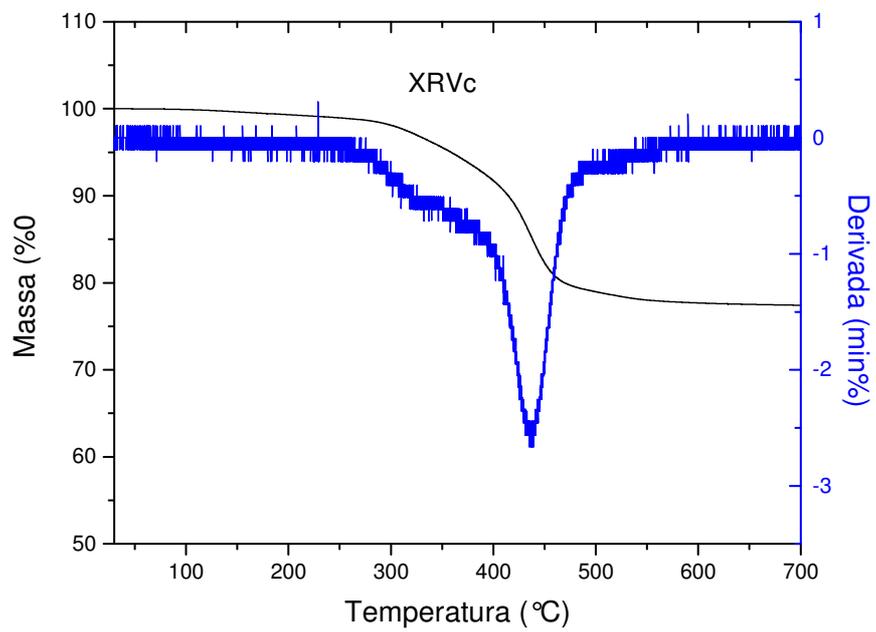


Figura 19 – Curva termogravimétrica do material XRV curado

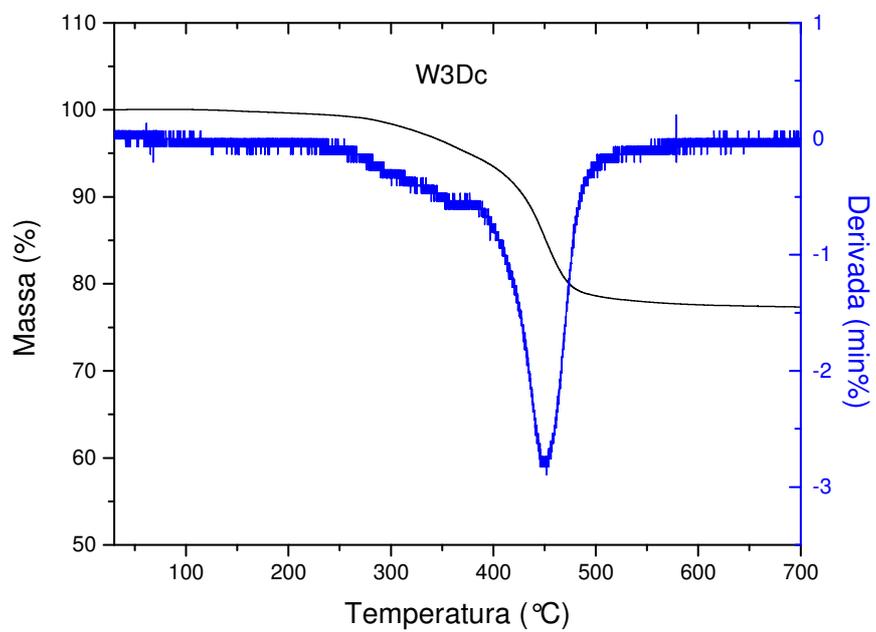


Figura 20 – Curva termogravimétrica do material W3D curado

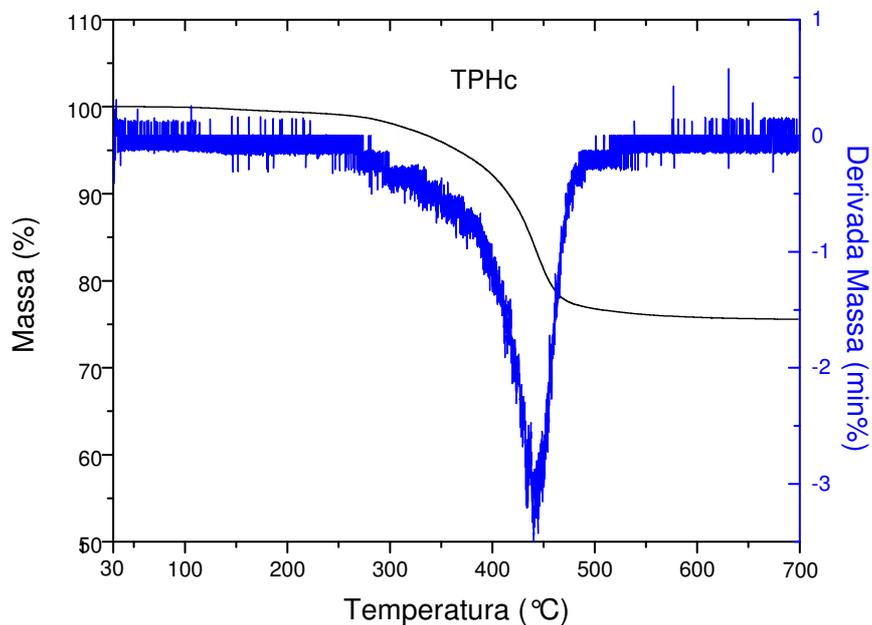


Figura 21 – Curva termogravimétrica do material TPH curado

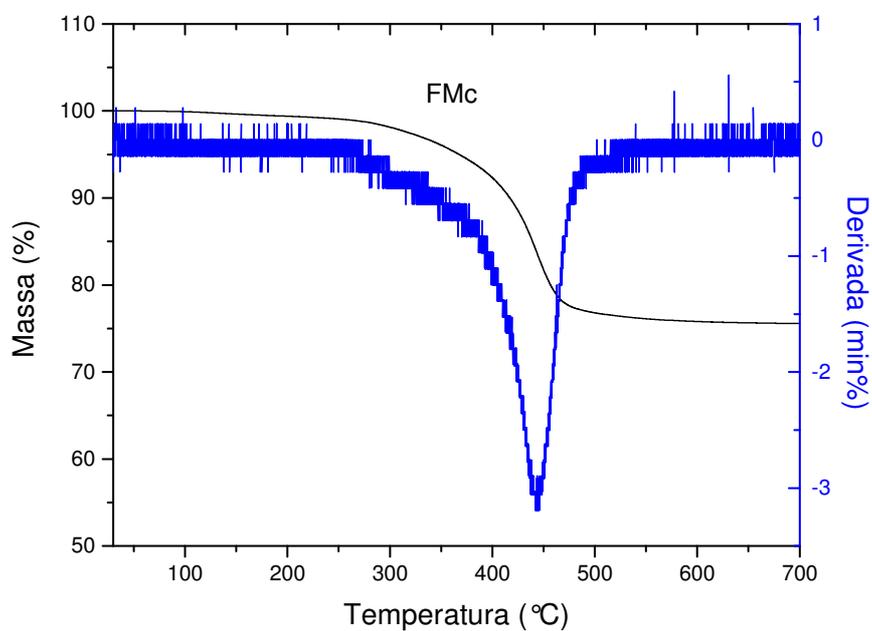


Figura 22 – Curva termogravimétrica do material Fill Magic curado

Como esperado, os resultados indicam uma elevação nas temperaturas relativas ao início da primeira perda de massa, em todos os sistemas, após a polimerização. É evidente que o surgimento de macromoléculas com ligações cruzadas torne os compostos mais estáveis a degradação térmica.

A literatura não fundamenta nenhuma justificativa para que haja qualquer diferença no processo de degradação das resinas compostas, quanto a técnica de inserção. Uma das amostras foi submetida a análise de TG variando-se a técnica de inserção, nenhuma modificação na cinética de degradação foi observada, então não se prosseguiu com as análises.

#### 4.2 - ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO

Para a análise do grau de conversão dos compósitos dentais a base de Bis-GMA, o método mais utilizado tem sido a espectrometria de infravermelho. A análise no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) forneceu espectros que permitiram a caracterização das modificações estruturais decorrentes do processo de polimerização da formulação base de cada composto comercial.

A presença de uma banda de absorção estável de dupla ligação carbono-carbono proveniente do anel aromático presente tanto no monômero base quanto na cadeia formada, é tomada como referência interna nos procedimentos de espectrometria de materiais a base de Bis-GMA, cuja banda de absorção fica em torno de  $1610\text{ cm}^{-1}$ . O modo vibracional da dupla ligação carbono-carbono, característica em torno da frequência de  $1638\text{ cm}^{-1}$ , em geral é adotado como referência da polimerização por ser o principal sítio ativo do BisGMA na reação[38,39,77].

Como o processo de polimerização foi distinto, o grau de conversão torna-se um importante instrumento para verificarmos a influência da técnica de inserção nas propriedades dos materiais restauradores. Por esse motivo as amostras serão

divididas, agora, em outros dois grupos: Técnica incremental (Ti) e Incremento único (IU). Os valores de absorvância na região de infravermelho para os compósitos não-curados estão dispostos na Tabela 6. Os valores de absorvância a 1638 e 1610  $\text{cm}^{-1}$  dos compósitos curados das diferentes técnicas de inserção encontram-se na tabela 7. O grau de conversão das amostras foi obtido utilizando-se a equação 1, e estão representadas na Tabela 8.

Tabela 6 – Valores de absorvância a 1638 e 1610  $\text{cm}^{-1}$  dos compósitos não curados

Marcas comerciais	1638 $\text{cm}^{-1}$	1610 $\text{cm}^{-1}$
Z100	0,1007	0,0436
XRV	0,0749	0,0571
W3D	0,0426	0,0319
TPH	0,0465	0,0334
Fill Magic	0,0157	0,0126

Tabela7 – Valores de absorvância a 1638 e 1610  $\text{cm}^{-1}$  dos compósitos curados

Marcas comerciais	1638 $\text{cm}^{-1}$	1610 $\text{cm}^{-1}$
Z100 Ti	0,1541	0,1438
Z100 IU	0,0687	0,0576
XRV Ti	0,0758	0,0993
XRV IU	0,0538	0,0644
W3D Ti	0,0415	0,0608
W3D IU	0,0369	0,0472
TPH Ti	0,0341	0,0623
TPH IU	0,0392	0,0643
Fill Magic Ti	0,0480	0,0759
Fill Magic IU	0,0863	0,1224

Tabela 8 – Grau de conversão dos compósitos polimerizados pelas técnicas incremental e incremento único, e quantidade de carga.

Resina	Grau de conversão Ti	Grau de conversão IU	% de carga
Z100	53%	48%	82
XRV	42%	36%	77
W3D	49%	41%	77
TPH	61%	56%	76
Fill Magic	53%	48%	76

Como visto na literatura, é esperado que o grau de conversão seja maior para a técnica incremental, pois com a utilização de pequenos incrementos é possível que haja uma maior eficiência na polimerização por facilitar a penetração da luz incidente[56-59].

A análise de FTIR para o grau de conversão de compósitos restauradores a base de BisGMA apresenta inúmeras variáveis que podem influenciar os resultados. As bandas  $1610\text{ cm}^{-1}$  e  $1638\text{ cm}^{-1}$ , apresentam-se com baixa intensidade, e são difíceis de serem observadas. Durante a confecção das pastilhas de Kbr, tanto o Kbr quanto a resina composta devem estar bem secos, para evitar um aumento na variação dos resultados. As amostras devem estar bem concentradas para possibilitar a visualização das bandas e o cálculo da absorvância das duplas ligações de carbono alifático ( $1638\text{ cm}^{-1}$ ) e aromático ( $1610\text{ cm}^{-1}$ )

Nota-se pela Tabela 8, que não se estabeleceu uma relação clara entre o grau de conversão e a quantidade de carga. Embora não tenha sido observada nenhuma relação entre estes fatores, é possível que esta tenha sido mascarada pelo desvio encontrado na técnica de verificação do grau de conversão utilizada.

Além disso, os compósitos restauradores utilizados apresentam um percentual de carga inorgânica bastante próximos. Apesar da literatura relatar que o aumento na quantidade de carga aumentar o grau de conversão[22,27,28], diferenças tão próximas podem não ter sido suficientes para influenciar a conversão obtida. Neste caso, o tipo de carga e tamanho da partícula provavelmente foram fatores mais relevantes para a variação entre as marcas comerciais, do ponto de vista das cargas.

A cura dos compósitos dentais é bastante dependente das características de seus componentes, porém a maioria das formulações comerciais disponíveis não traz em suas bulas as especificações reais da composição. A conversão dos monômeros apresenta grande sensibilidade à variação do conteúdo das misturas[80].

Como dito anteriormente, o tamanho da partícula de carga pode influenciar o grau de conversão. Partículas de carga com tamanhos menores que o comprimento de onda da luz incidente favorecem o grau de conversão[38,39,80].

Segundo informações fornecidas pelo fabricante o tamanho médio das partículas de carga dos compósitos utilizados está em torno de  $0,5\mu\text{m}$ , porém não foi feita nenhuma verificação sobre estas informações. Portanto a diferença no grau de conversão para os compósitos comerciais pode estar relacionada com inúmeras variáveis como: tamanho e formato da partícula de carga, tipo de carga e dispersão dessas partículas. Além da técnica de inserção, possíveis diferenças as composição monomérica das resinas, indicada pela termogravimetria, também podem estar contribuindo para esta variação.

A Figura 23 representa os espectros de infravermelho característico das amostras estudadas. Nota-se uma diminuição da intensidade da absorção referente a ligação C=C alifático das moléculas de monômero e do compósito referente a banda  $1638\text{ cm}^{-1}$ .

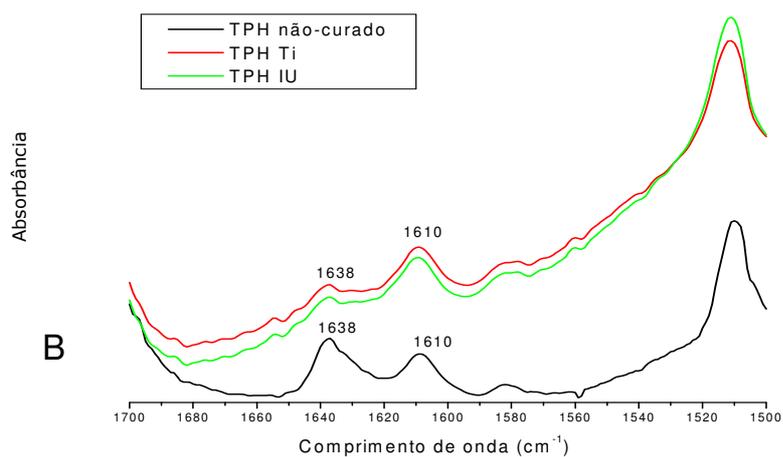
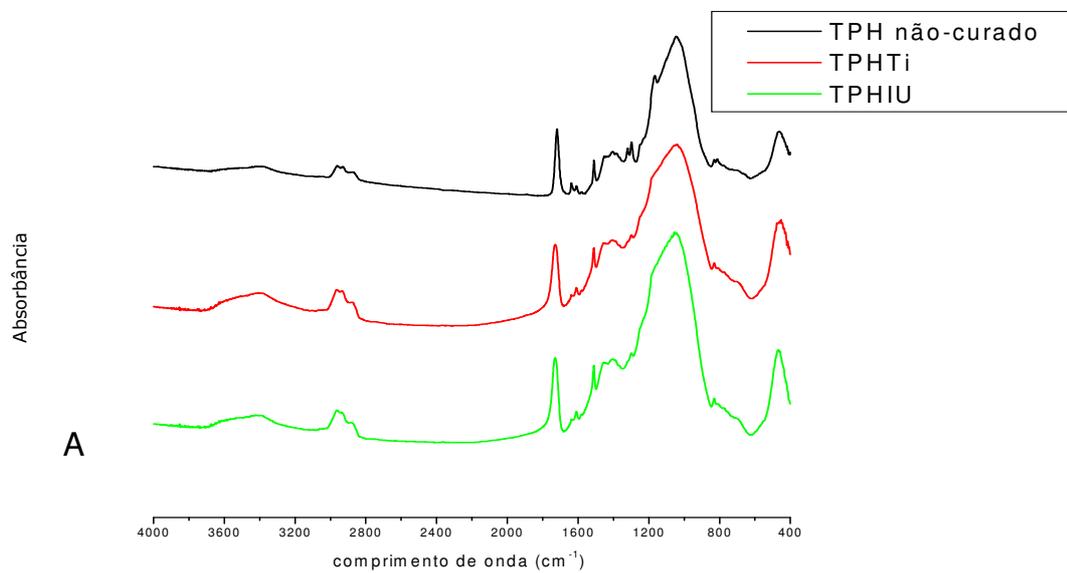


Figura 23 – A- Espectros de TPH, na região entre 1500-1700 cm<sup>-1</sup>, destacando as bandas 1610 e 1638 cm<sup>-1</sup>.

Sabe-se que quanto menor a espessura da amostra a ser fotopolimerizada, maior o grau de conversão, para o mesmo tempo de exposição à luz do fotopolimerizador[58-60]. A técnica incremental utiliza aplicação de pequenos incrementos o que geraria um maior grau de conversão.

Para a realização deste estudo foi utilizado um molde com 2,0mm de altura, o que garante que todas as amostras foram polimerizadas de maneira eficiente, porém em algumas porções da técnica incremental a espessura de material a ser polimerizado foi menor o que pode gerar um maior grau de conversão para este grupo, mesmo que não seja grande esta diferença, já que a literatura diz que não há grandes ganhos no grau de conversão em incrementos menores ou iguais a 2mm[58-60,79].

Observando a Figura 24, nota-se que o grau de conversão tende a ser mais elevado para todas as amostras da técnica incremental. A diferença parece não ser estatisticamente significativa, levando-se em conta a possibilidade de variação, já indicada na literatura, para os resultados do FTIR em sistemas a base de BisGMA[79].

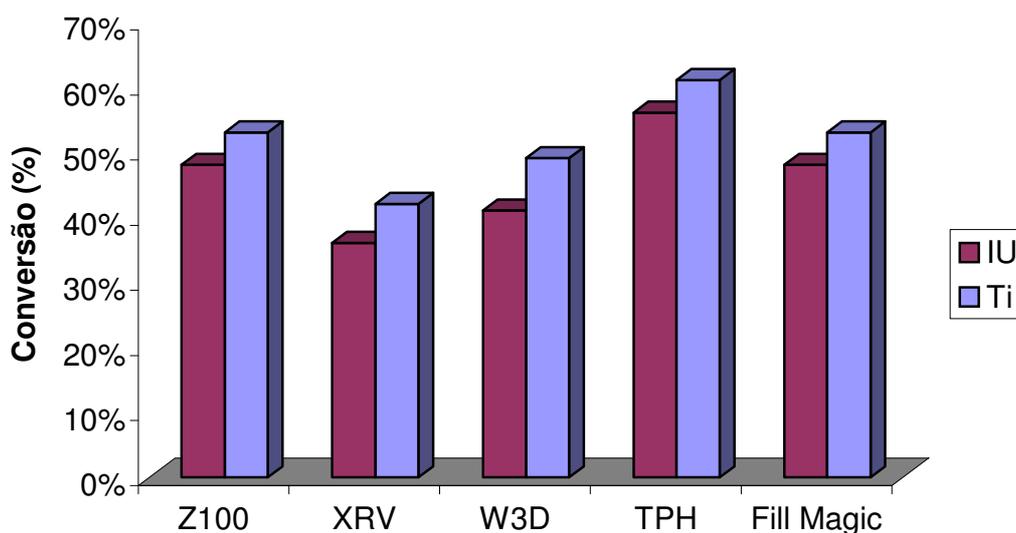


Figura 24 – Grau de conversão

É provável que a tendência a um o maior grau de conversão para a técnica incremental, seja de responsabilidade das porções mais finas dos incrementos, que permitiram uma maior penetração da luz incidente, tornando mais eficiente o processo de polimerização da resina composta.

#### 4.3 – CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO

As amostras preparadas para a verificação da contração de polimerização foram medidas com um micrômetro digital Mitutoyo com 0,001 de precisão e calculada de acordo com as equações 6 e 7. A técnica de avaliação da contração de polimerização, é uma adaptação da técnica utilizada por Bowen[46], pode apresentar alguma variação, já que não é o método mais apropriado de se verificar este tipo de contração[52]

A contração de polimerização foi calculada utilizando-se as equações 6 e 7, para contração volumétrica e contração linear, respectivamente. Os resultados estão dispostos nas Figuras 25 e 26.

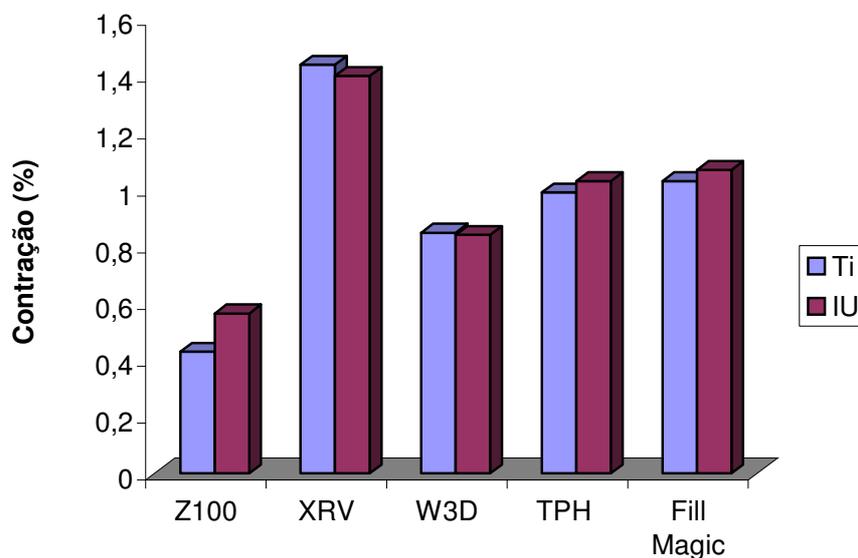


Figura 25 – Contração Volumétrica das resinas após a polimerização para ambas as técnicas de inserção

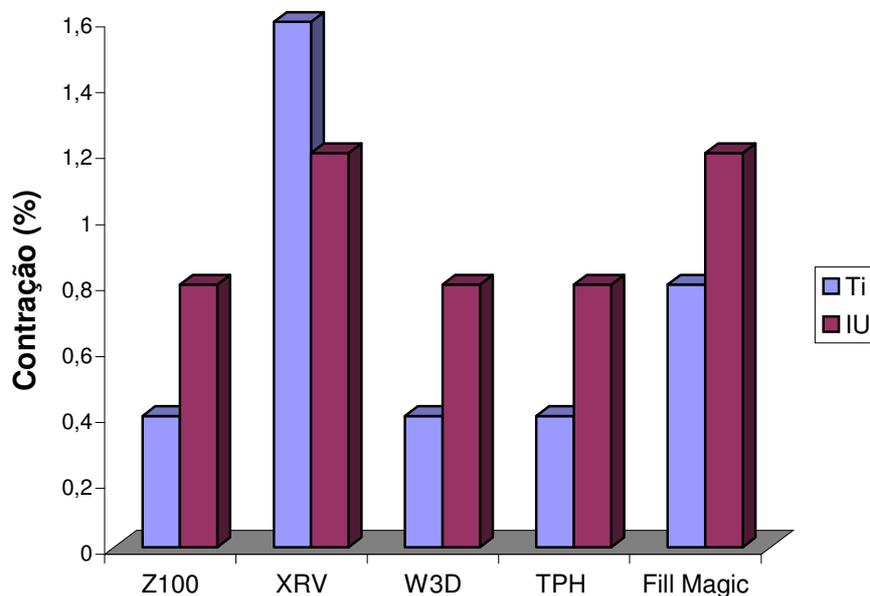


Figura 26 – Contração Linear das resinas após a polimerização para ambas as técnicas de inserção

Para alguns autores o uso da técnica incremental diminui a tensão residual gerada pela contração de polimerização na interface dente-restauração[45,47]. Outros autores discordam, afirmando que a técnica incremental não traria nenhum benefício em relação à contração de polimerização[49,52].

Apesar de possuírem o Bis-GMA na matriz resinosa e tamanho de partícula de carga muito próximos, os materiais estudados possuem tipos de cargas diferentes. É muito provável que esta seja uma das principais causa de algumas das variações observadas. O principal efeito a ser observado para os resultados da contração de polimerização é dado pela composição dos materiais estudados. Aparentemente, o melhor desempenho em relação a contração da técnica incremental (Ti) é obtido para quase todos os compósitos, exceto para a resina XRV onde o desempenho da técnica de incremento único mostrou-se superior. As

resinas Z100, W3D e TPH apresentaram as menores contrações lineares de polimerização para ambas as técnicas de inserção.

Pode-se observar ainda que para o cálculo da contração linear os resultados foram mais expressivos que para a contração volumétrica, onde quase não é possível observar uma tendência devido a diferenças muito próximas entre uma técnica e outra, isto deve-se provavelmente às medidas de largura e altura, que possuem valores muito pequenos aumentando ainda mais os erros para esta técnica.

A contração de polimerização está diretamente relacionada com a quantidade e o tipo de carga inorgânica[15,22,40,41]. Segundo a literatura, quanto maior a quantidade de carga, menor a contração de polimerização[40,41]. Porém uma maior quantidade de carga, aumentaria o espalhamento de luz no interior do compósito, aumentando o grau de conversão, o que geraria uma maior contração de polimerização[78]. A Tabela 6 resume os diferentes efeitos de parâmetros do processo. Nota-se que, na verdade, a quantidade de carga parece gerar um equilíbrio dinâmico entre grau de conversão e contração de polimerização, que não foi observado neste trabalho. Por outro lado, os resultados obtidos para conversão e contração parecem não comprovar a tendência descrita pela literatura, ou seja não foi observada a relação direta entre o aumento de conversão e a contração.

Tabela 9 – Relações estabelecidas entre os parâmetros de controle do processo de polimerização de materiais restauradores dentários[40,41,78]

<b>% de carga</b>	↑	<b>Grau de conversão</b>	↑
<b>% de carga</b>	↑	<b>Contração de polimerização</b>	↓
<b>Grau de conversão</b>	↑	<b>Contração de polimerização</b>	↑

Como esperado a técnica incremental por utilizar incrementos com espessuras de 0 a 2,0mm apresentou um grau de conversão maior, já que quanto menor a espessura da amostra a ser irradiada maior o grau de conversão[79]. Assim, era suposto que os maiores graus de contração fossem obtidos para a mesma técnica. No entanto, isto foi observado somente para o compósito XRV, onde a maior contração foi para a técnica incremental.

#### 4.4- ENSAIO DE FLEXÃO

A resistência a flexão representa a tensão máxima desenvolvida na superfície de uma barra quando sujeita a deflexão. O ensaio de flexão utilizado aplica-se a materiais rígidos, isto é, aqueles que não vergam excessivamente sob a ação da carga[77,81].

Analisando os gráficos de Tensão/Deformação na Figura 9, que refletem o comportamento típico dos materiais utilizados em restauração dentária direta, percebe-se nitidamente que os compósitos possuem comportamento de um material rígido e quebradiço na região de deformação elástica[82].

Os valores de força sob flexão e o deslocamento do travessão para os materiais restauradores foram obtidos em N e mm. O valor da tensão de flexão foi calculado em MPa, de acordo com a equação 2. A montagem dos gráficos para análise do comportamento mecânico e obtenção da razão tensão deformação, foram feitas através de programas de computador.

A tensão de flexão exercida pelo corpo de prova durante o ensaio de flexão, foi obtida, enquanto ocorria o deslocamento do travessão até o momento da ruptura do material. A Figura 27A apresenta o perfil de flexão das amostras obtidas pela técnica incremental e 27B pela técnica de incremento único.

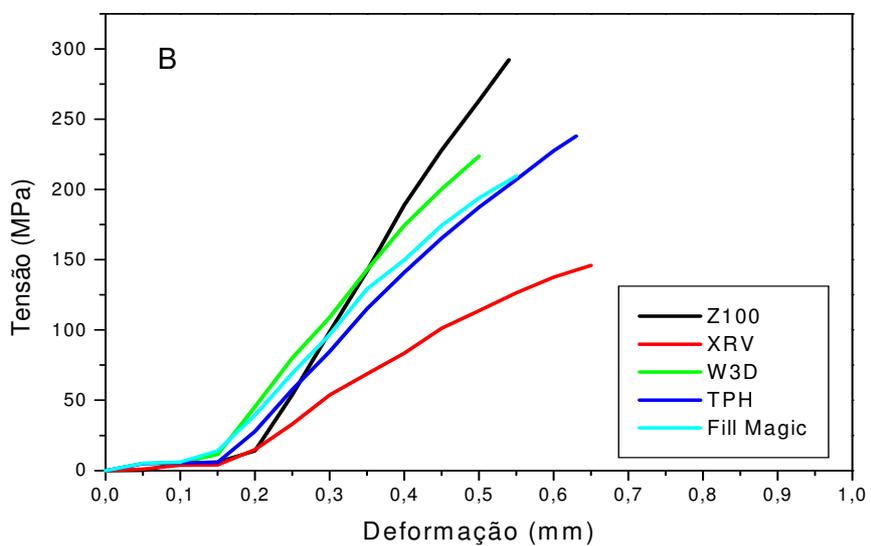
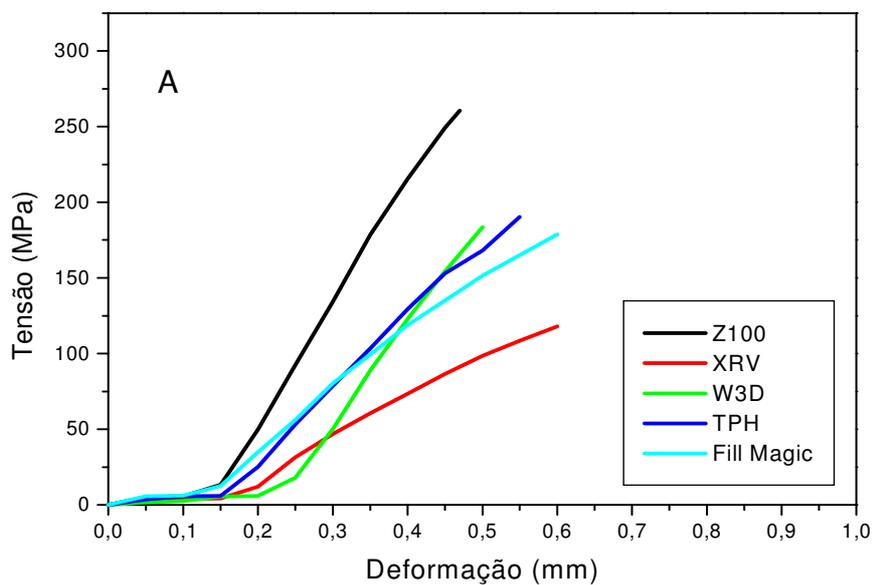


Figura 27 – Curvas de Tensão-Deformação das resinas polymerizadas pelas técnicas: incremental (A) e incremento único (B).

A resina Z100 mostrou-se a mais resistente ao ensaio de flexão, quando comparada as outras marcas comerciais. A XRV teve o pior desempenho, enquanto W3D, TPH e Fill Magic mostraram um comportamento intermediário. A média da resistência à flexão, variando-se a técnica de inserção, das resinas compostas está representada em MPa no Tabela 10. O módulo de flexão pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 10 – Resistência à flexão em MPa das resinas polimerizadas pelas técnicas incremental e incremento único.

Resina	Resistência à Flexão	
	Inserção	
	Incremental	Incremento Único
Z100	262,51 ( $\pm 5,83$ )	312,49 ( $\pm 1,67$ )
XRV	118,11 ( $\pm 2,72$ )	144,9 ( $\pm 7,23$ )
W3D	183,55 ( $\pm 1,82$ )	224,8 ( $\pm 2,89$ )
TPH	190,86 ( $\pm 8,26$ )	235,73 ( $\pm 5,85$ )
Fill Magic	178,95 ( $\pm 6,49$ )	211,76 ( $\pm 5,36$ )

Tabela 11 – Módulo de flexão em MPa das resinas polimerizadas pelas técnicas incremental e incremento único.

Resina	Resistência à Flexão	
	Inserção	
	Incremental	Incremento Único
Z100	55072 ( $\pm 1398$ )	63797 ( $\pm 1221$ )
XRV	17446 ( $\pm 203$ )	24498 ( $\pm 492$ )
W3D	46409 ( $\pm 824$ )	54114 ( $\pm 3901$ )
TPH	33446 ( $\pm 1395$ )	39945 ( $\pm 1534$ )
Fill Magic	27663 ( $\pm 1025$ )	37023 ( $\pm 627$ )

Todos os valores observados, encontram-se dentro da faixa recomendada pela norma ISO 4049, que determina para este tipo de material uma resistência a flexão de no mínimo 80 MPa.

A técnica de inserção influenciou sensivelmente a resistência a flexão. Para todas as resinas, a técnica de incremento único apresentou maior resistência a flexão e maior módulo de flexão, como visto nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

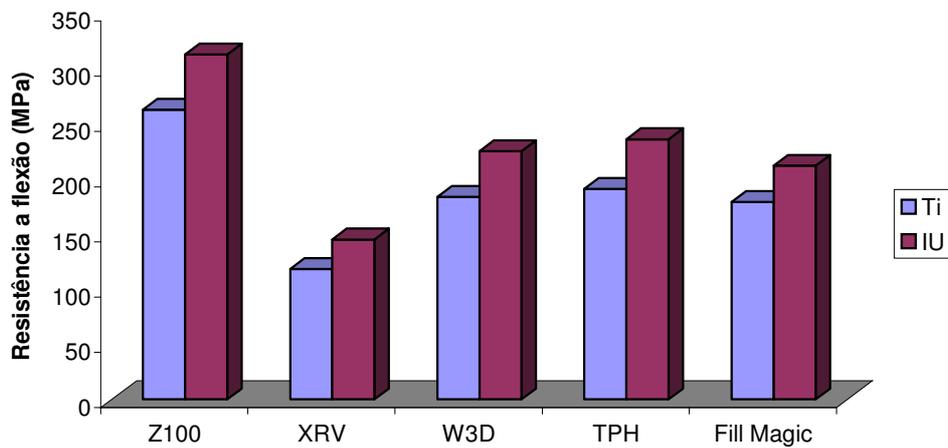


Figura 28 – Comparação da resistência à flexão entre as amostras de Ti e IU

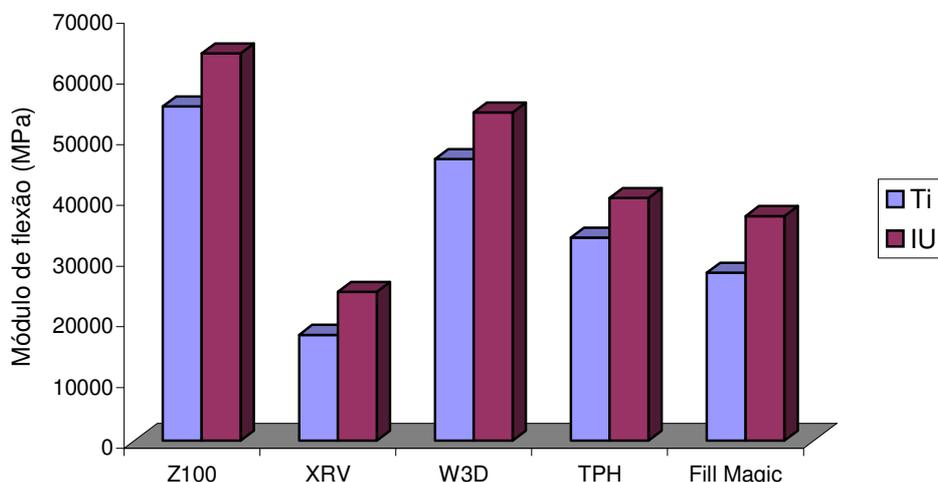


Figura 29- Comparação do módulo de flexão entre as amostras de Ti e IU

Uma peculiaridade observada neste ensaio refere-se a maior rigidez para a resina W3D. Os valores de módulo obtidos para esta resina não acompanham a mesma tendência observada para a resistência a flexão. Embora a W3D apresente valores de tensão semelhantes a TPH e Fill Magic, a rigidez é maior que as demais em ambas as técnicas.

A técnica incremental mostrou-se menos resistente a flexão, contrariando alguns autores[53-57], que ao descreverem esta técnica atribuem aos incrementos menores que favorecem a polimerização, e a obtenção de um material mais resistente a fratura. O mesmo ocorre ao avaliarmos os módulos de flexão relativos as duas técnicas de inserção.

Ao analisarmos os procedimentos das duas técnicas utilizadas torna-se evidente as inúmeras possibilidades de ocorrência de falhas para os corpos obtidos pela técnica incremental. Durante a inserção múltipla do material pode haver falha na adesão entre os incrementos. A literatura descreve que a adesão

entre os incrementos é efetiva devido a presença de oxigênio na superfície das restaurações, o que impediria a completa polimerização da camada mais externa, deixando uma camada de dispersão que promoveria a adesão da segunda camada de material restaurador da técnica incremental[6]

Talvez esta adesão não seja tão eficiente, e possivelmente prejudique o desempenho mecânico das amostras onde foi utilizada a técnica incremental. Apesar de se comentar que esta técnica aumenta a resistência mecânica, nenhum dos estudos mostra valores referentes a influência da mesma na resistência mecânica. A estudada literatura baseia-se apenas no fato de que o aumento da conversão dos compósitos aumentaria as suas propriedades mecânicas.

Um outro parâmetro que pode ser observado é o perfil de fratura dos corpos de prova, para o ensaio de flexão, que variou para as técnicas de inserção. Quinn[82] classificou as fraturas ocorridas com os materiais restauradores em: fratura em onda, fratura em cone e fratura contínua.

A fratura em onda parece iniciar-se com uma fenda perpendicular a superfície de tensão, e por algum motivo, quando se aproxima da superfície de compressão a direção de propagação da fenda é modificada. Porém logo depois a fenda torna a propagar-se perpendicularmente a superfície de tensão. A fratura em cone é a mais comum entre esses materiais, a fenda inicia-se em uma direção na superfície de tensão e sua direção é permanentemente modificada a partir da zona neutra. A fratura contínua ocorre quando alguma partícula de carga ou aglomerado de carga interfere no caminho percorrido pela fenda, formando uma interface entre carga e matriz resinosa. Esta interface pode atuar como um tipo de entalhe, onde a fratura ocorre ao longo de uma interferência e continua a desenvolver-se por planos diferentes, causando uma superfície irregular. As áreas de compressão e de tensão para o corpo de prova utilizado pode ser visto na Figura 30[82].

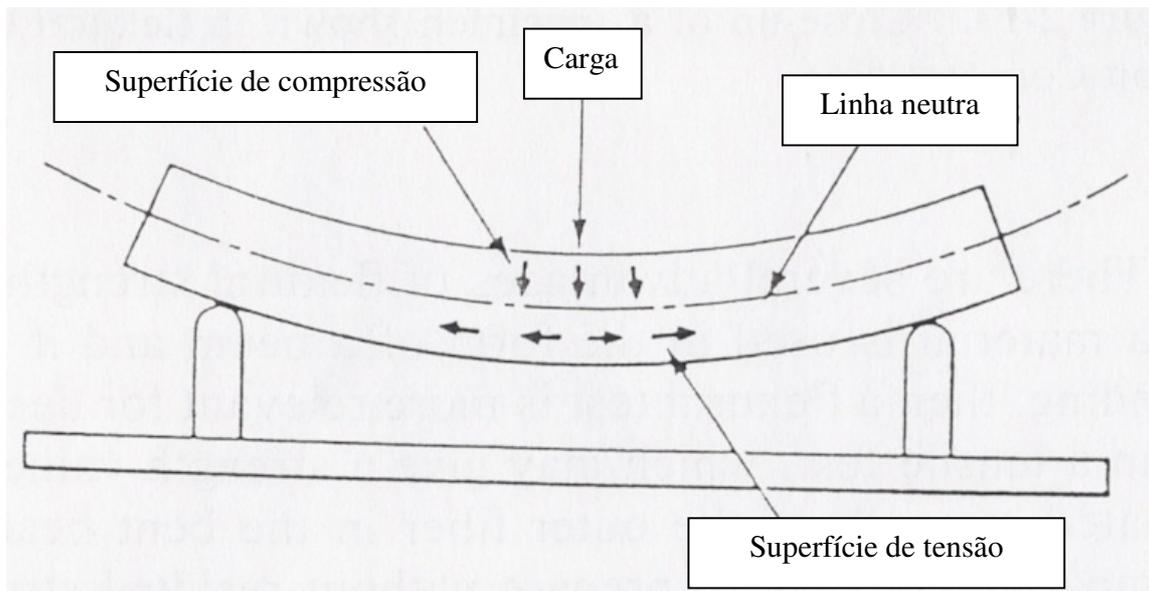


Figura 30 – área de tensão, de compressão e linha neutra formada durante o ensaio de flexão [82]

Durante o ensaio foi observado que houve uma variação nos tipos de fratura quanto à técnica de inserção. Para as amostras polimerizadas pela técnica de incremento único observa-se uma tendência de surgimento de dois tipos de fratura descritos acima, em sua maioria no centro do corpo de prova. As fraturas em onda ocorreram com uma incidência muito pequena. Acredita-se que a alternância entre as fraturas em onda ou contínua é estabelecida pela presença aleatória de cargas aglomeradas no percurso da fratura.

Para as amostras polimerizadas pela técnica incremental, as fraturas tenderam a um comportamento parecido ao descrito para a fratura em onda, quase que em sua totalidade, além de estarem deslocadas do centro do corpo de prova. Como descrito por Quinn[82], a ocorrência deste tipo de fratura está associada à presença de uma falha no caminho percorrido pela mesma. Considerando-se que as fraturas iniciam as propagações deslocadas em relação ao centro dos corpos; podemos sugerir que a mudança de direção seja motivada por uma provável falha existente entre um incremento inferior e o superior.

Exemplos das fraturas ocorridas em corpos de prova obtidos em ambas as técnicas incrementais, podem ser vistos na Figura 31. A e B são exemplos de fraturas obtidas para os corpos de prova de IU; C e D demonstram as fraturas obtidas para os corpos de prova de Ti.

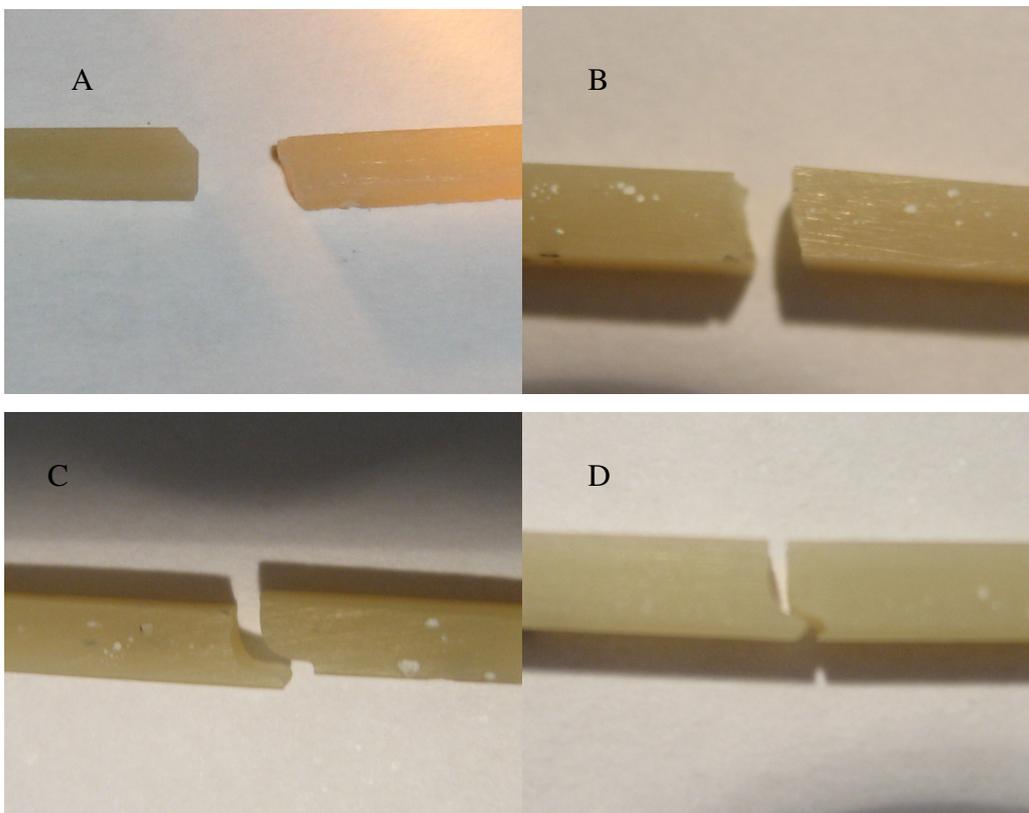


Figura 31 – Fotografia da superfície de fratura dos corpos de prova de flexão das resinas polimerizadas

Durante a análise de microscopia óptica com aumento de 100X pode-se observar uma linha de união na face lateral dos corpos de prova confeccionados pela técnica incremental, como pode ser visto na Figura 32 A a 32 C. A: Micrografia da face lateral do corpo de prova da resina TPH confeccionado pela técnica incremental; B: da resina Fill Magic e C: da resina Z100. Estas características podem ser melhor visualizadas através dos resultados da microscopia eletrônica de varredura (MEV) com aumentos de 50, 100, 200 e 300X como mostram as Figuras 33 e 34. Já na face superior do corpo de prova esta falha não pode ser observada na microscopia óptica nem na microscopia eletrônica de varredura, provavelmente devido a um espalhamento do material sobre a união dos incrementos durante a confecção dos corpos de prova. A micrografia da face superior do corpo de prova pode ser vista na Figura 35. Tentou-se observar ainda, alguma falha na face fraturada dos corpos de prova, porém devido a irregularidade da superfície fraturada foi impossível a visualização de qualquer tipo de falha tendo em vista a dificuldade em se conseguir um foco razoável, como pode ser observado na Figura 36. Para os corpos de prova confeccionados pela técnica de incremento único nenhuma linha de união foi observada.

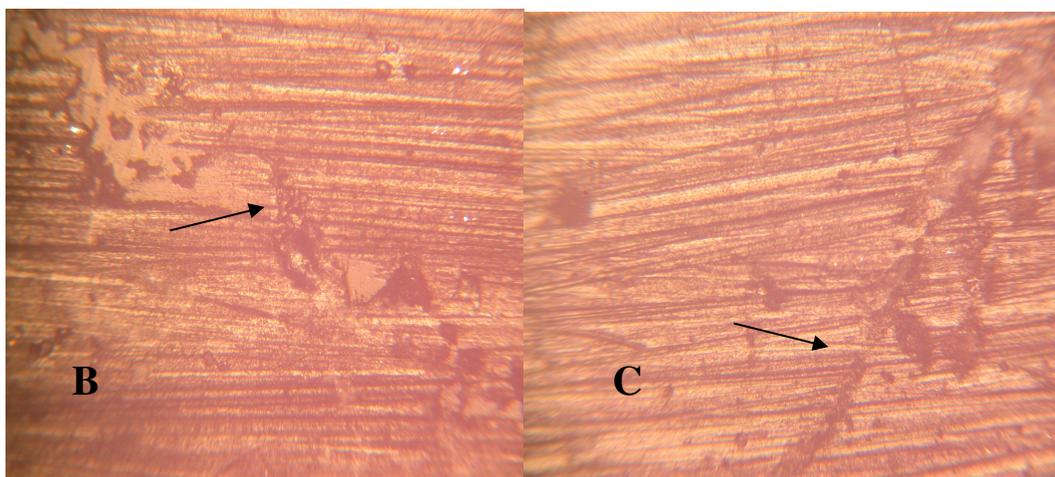
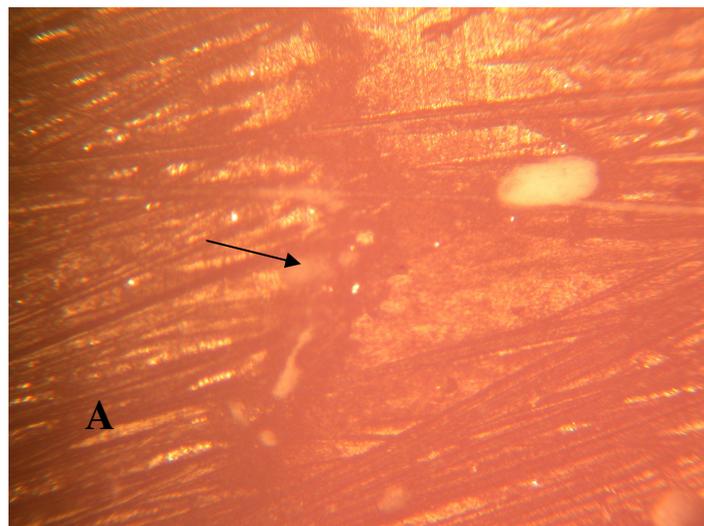


Figura 32 – Fotomicrografia da superfície lateral dos corpos de prova das resinas polymerizadas pela técnica incremental.

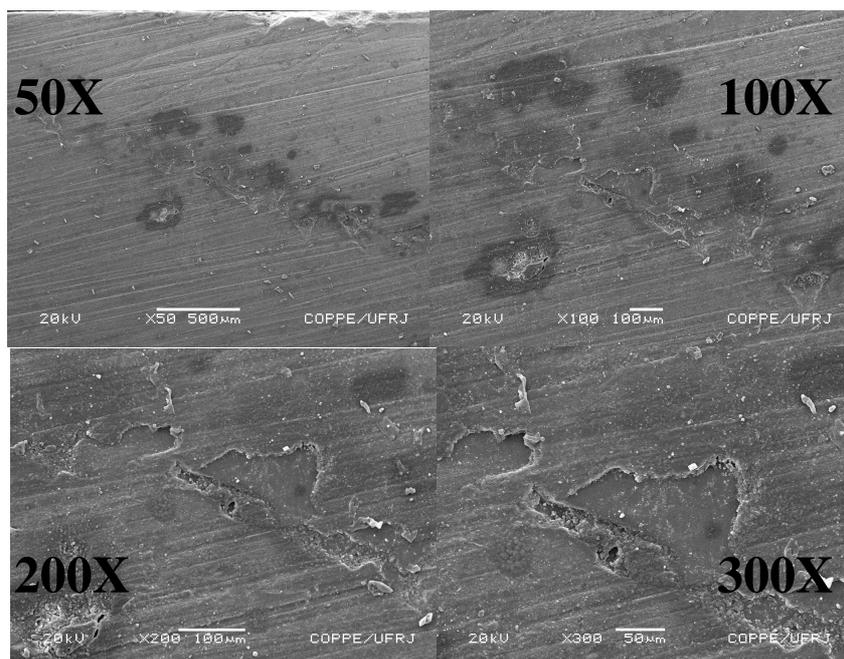


Figura 33 - Fotomicrografia da superfície lateral dos corpos de prova das resinas polimerizadas pela técnica incremental.

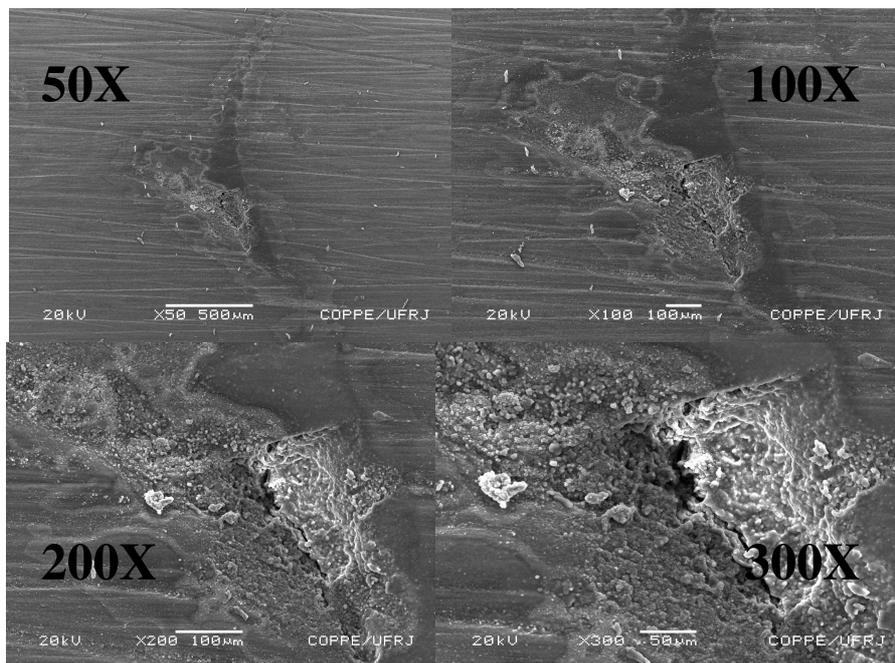


Figura 34 - Fotomicrografia da superfície lateral dos corpos de prova das resinas polimerizadas pela técnica incremental.

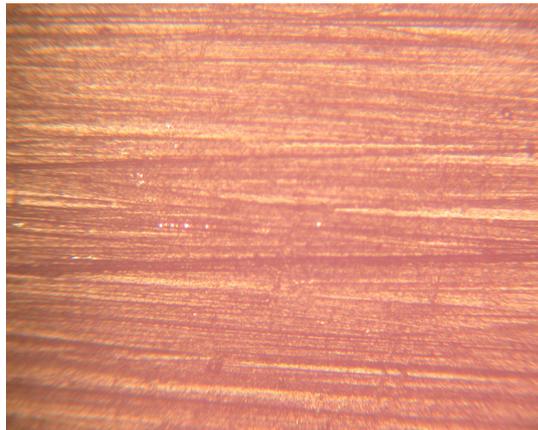


Figura 35 – Fotomicrografia da superfície superior dos corpos de prova das resinas polimerizadas pela técnica incremental.

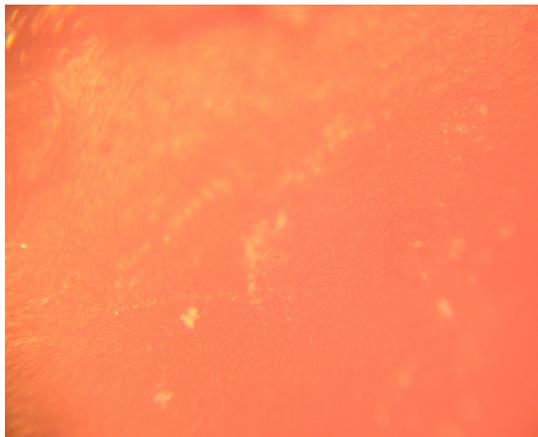


Figura 36 – Fotomicrografia da superfície fraturada dos corpos de prova das resinas polimerizadas pela técnica incremental.

A descrição dos diferentes tipos de fratura ocorridos em relação á técnica de inserção e as micrografias reforçam e esclarecem os resultados obtidos para tensão de flexão e módulo, e justificam a diminuição da resistência mecânica mesmo havendo um aumento no grau de conversão. Aparentemente a técnica incremental gera falhas próximas a interface entre as camadas de incremento. Estas falhas podem explicar a queda significativa do desempenho mecânico observada em corpos obtidos pela técnica incremental.

As técnicas de inserção apresentam vantagens e desvantagens, que o clínico deve pesar na hora de escolher qual técnica deve ser usada. É evidente que para cavidades muito profundas a técnica de incremento único é inviável, pois não será possível realizar uma polimerização eficiente. Por outro lado as falhas presentes na interface da técnica incremental pode fragilizar a restauração diminuindo sua longevidade. Vários fatores como: tamanho e formato da cavidade, marca comercial, intensidade de luz do fotopolimerizados entre outros devem ser analisados antes de se escolher a melhor técnica a ser empregada.

## 5 - CONCLUSÃO

- O grau de conversão tende a ser superior para a técnica incremental. Uma variação grande entre as marcas comerciais pode ser observada, provavelmente por alguma variação na composição dos compósitos restauradores.
- A técnica de inserção influenciou significativamente a contração de polimerização. A contração de polimerização tende a ser menor para a técnica incremental, exceto para um compósito. A marca comercial XRV apresentou menor contração de polimerização quando aplicada a técnica de incremento único.
- As propriedades mecânicas tendem a ser influenciadas pela técnica de inserção. Os resultados obtidos apontam para uma maior fragilidade mecânica em amostras preparadas pela técnica incremental utilizada.
- A resina Z100 apresentou os melhores desempenhos, relativos a contração e propriedades mecânicas, quando comparada às demais resinas. Em contrapartida a XRV apresentou o pior comportamento.

## 6 - SUGESTÕES

- Fazer a estatística da espectrometria de infravermelho, para verificar a relevância dos resultados do grau de conversão.
- A verificação do tamanho real das partículas de carga e distribuição, esta variável pode ter influenciado os resultados do grau de conversão, contração de polimerização e resistência a flexão. Por isso uma caracterização mais aprofundada dos compósitos comerciais seria conveniente.
- Caracterizar os tipos de carga
- Estudar os efeitos da técnica de inserção sobre a microinfiltração
- Ampliar os estudos sobre contração
- Desenvolver técnicas que diminuam a falha entre os incrementos. Diminuir o tempo de exposição entre um incremento e outro ou utilizar uma espécie de adesivo entre as camadas.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASMUSSEN, E.; JORGENSEN, K.D. **A Microscopic Investigation Of Adaptation Of Some Plastic Filling Materials To Dental Cavity Walls.** Acta. Odont. Scand., 1972. v. 30, n.1, p. 3-21.
2. BASTOS, M. T. A. A. **Resinas Compostas Em Dentes Posteriores.** Rev. Odont. Usp, 1987. V. 2, p. 42-5.
3. BAUM, L.; PHILLIPS, R. W.; LUND, M. R. **Textbook Of Operative Dentistry.** Philadelphia, Wb Saunders, 1985. 2<sup>o</sup> Edição.
4. BUONOCORE, M G., **A single method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces.** J. Dent. Res., 1965. v. 3, n. 4, p. 84-9.
5. PHILLIPS, R. W.; ANUSAVICE, H. J.; **Materiais Dentários.** Rio De Janeiro. Ed Guanabara Koogan, 1998. 10<sup>o</sup> Edição.
6. IORIO, P. A. C; **Dentística Clínica – Adesiva E Estética.** Ed. Santos, 1999. v.1, 1<sup>o</sup> Edição.
7. MAZER, R. V.; LEINFELDER, K. F.; **Microfill Posterior Composite Resin.** Jada, 1992. v. 123, p. 33-8.
8. SANTOS, M. J. C. M. et al. **Novos conceitos relacionados a fotopolimerização das resinas compostas.** LBD, 2002. v.1, n.1. p. 45-9.
9. KORAN, P.; KÜRSCHNER, R. **Effect Of Sequential Versus Continuous Irradiation Of A Light-Cured Resin Composite On Shrinkage, Viscosity, Adhesion And Degree Of Polymerization.** Am J. Dent., 1998. v.11, n.1, p.17-22.

10. CAVINA, D. A. **Avaliação das forças geradas durante a contração de polimerização de resinas compostas híbridas.** 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Dentística) - Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo, Bauru, 2003.
11. SAKAGUCHI, R.L; BERGE, H. X. **Reduced Light Energy Density Decreases Post-Gel Contraction While Maintaining Degree Of Conversion In Composites.** J Esthet Restor Dent., 1998. n. 26, v. 8, p. 695-700.
12. CONDON, J. R.; FERRACANE, J. L. **Assessing The Effect Of Composite Formulation On The Polymerization Stress.** J. Am Dent Assoc., 2000. v. 4, n.13, p. 497-503.
13. BOWEN., R L; **Properties of a sílica-reinforced polymer for dental restorations.** J Am Dent Assoc. 1967. n.7, v. 4, p. 39-45.
14. WATTS, D. C.; CASH, A. J.; **Shrinkage Stress Reduction In Resin-Composites Of Increasing Particle Concentration.** J. Dent. Res., 2002. v. 1, n. 8, p. 308-328.
15. CHAIN, M.; BARATIERII, L. **Restaurações estéticas com resina composta em dentes posteriores.** São Paulo, 1998. Editora Artes Médicas.
16. GORACCI, G. **The latest discoveries in adhesion: recent studies.** Edizioni Medico Scenfifiche, 1998. v. 2, p. 36-40.
17. ASMUSSEN, E. **Factors affecting quantity remaining double bond in restorative resin polymers.** Scand J Dent., 1982. v. 9, n. 2, p. 490-6.

18. FEILZER, A. J.; DE GEE, A. J.; DAVIDSON, C. L. **Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations.** Dent Mater., 1990. v. 6, p. 167-71.
19. CARVALHO, R. M. *et al.* **A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus relief.** Oper. Dent., 1996. v. 21, p. 17-24.
20. PEUTZFELD, A. **Resin composites in dentistry: the monomer systems.** Eur. J. Oral Sci., 1997. v. 105, p. 97-116.
21. CONDON, J. R.; FERRACANCE, J. L. **Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress.** J. Amer. Dent. Ass., 2000. v.131, n.4, p.335-41.
22. LUTZ, F.; PHILLIPS, R. **A classification and Evolution of composite resins Systems.** J. Prots. Dent., 1993. v.50, p.480-488.
23. LUDWICH, A. **Photoinitiation of polymerization.** Pure Appl. Chem., 1977. v. 49, n. 4, p.431-441.
24. MCGINNIS, V. **Acrylate systems for v.v. curing. Part I. Light Sources and photoinitiations.** J. Radiat. Curing., 1975. v. 2, n. 1, p.3-13.
25. AMERICAN DENTAL ASSOCIATION. **Reports of councils and bureaus specification N° 27 for Direct Filling Resins.** J. Amer. Dent. Ass., 1977. v. 94, p.1191-4.
26. CHUNG K.; GREENER, E. H. **Degree of conversion of seven light-cured posterior composites.** J. Oral. Rehabil. 1988. v. 15, p. 555-60.

27. WOLTER, H. **Bulk – Omocer and Omocer composites**. Annual report 1995, Fraunhofer: Institut für Silicatforschung, 1995. p. 45-51.
28. SUH, B. I. **Understanding and controlling the effect of polymerization shrinkage stress in composite restorations**. Probagonsti in Odontoiatria, italy, 2000. n.4, p.60-67.
29. FERRACANCE, J. L. **Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization**. Dent. Mater., 1998. v.20, p.1-7.
30. LEE, H. L.; ORLOWSKI, J. A. ROGERS, B. J. **A comparison of ultraviolet-curing and self-curing polymers in preventive, restorative and orthodontic dentistry**. Int Dent J., 1976 v. 26, p.134-52.
31. GOLDMAN, M. **Polymerization shrinkage of resin-based restorative materials**. Aust Dent J., 1983. v. 28, p. 156-61.
32. BRAEM, M. *et al.* **Stiffness increase during the setting of dentistry composite resins**. J. Dent. Res., 1987. v.66, n.12, p.1713-6.
33. FUSAYMA, T. **Indications for self-cures and light-cured adhesive composite resins**. J. Prosth. Dent., 1999. v. 67, n.1, p.46-51.
34. FEILZER, A. J.; DE GEE, A. J.; DAVIDSON, C. L. **Curing contraction of composites and glass ionomer cements**. J. Prothet Dent., 1998. v. 59, p. 297-300.
35. NAGEM FILHO, H. **Classificação das resinas compostas**. Rev. Gaúcha Odont, 1998. v. 36, n. 3, p. 218.

36. NAGEM FILHO, H. **Resina composta**. Bauru, Rev. Odont São Paulo, 1996. v. 2, p.1-17.
37. LEINFELDER, K. *et al.* **Currents Status of Composite Resins**. North. Carol. Dent. J.,1995. v. 3, p. 5-11.
38. LOSSIO, J. **Resinas Compostas uso clínico dos diversos tipos de resinas compostas**. Rev. Assoc. Paul. Cirurg. Dent., 1998. v. 5, p. 247-249.
39. YAP, A. U. J. *et al.* **Polymerization shrinkage of visible light cured composites**. Oper. Dent., 2000. v. 25, p .98-103.
40. CHEN, H. Y. *et al.* **Polymerization contraction stress in light cured packable composite resins**. Dent. Mater., 2001. v. .17, n. 3, p. 253-9.
41. MONDELLI, R. F. L.; CASTANEDA-ESPINOSA, J. C.; FRANCO, E. B. **Avaliação das forças de contração geradas na polimerização segundo o tipo de resina composta e modo de ativação**. Ed. Científica, Águas de Lindóia, 2002. p. 241.
42. LABELLA, R. L.; VAN, M. B.; VANHERLE, G. **Polymerization Shrinkage And Elasticity Of Flowable Composites And Filled Adhesives**. Dent Mater., 1999. v. 5, n. 1, p. 128-37.
43. VERSLUIS, A. *et al.* **Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage?** J. Dent. Res., 1996. v. 7, n. 5, p. 871-8.
44. MONDELLI, J. *et al.* **Restaurações Estéticas**. São Paulo, 1984, Editora Sarvier. p. 39-54.

45. McCABE, J. **Developments in composite resins**. Br. Dent. J. 1997, v. 157, p. 440-444.
46. BOWEN, R. L.; RAPSON, J. E.; DOCKSON, G. **Hardening Shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins**. J Dent Res 1982 v. 6, n. 1, p. 654-8.
47. DAVIDSON, C. L. **Resisting the curing contraction with adhesive composites**. J. Prosth. Dent., 1996. v. 55, n. 4, p. 446-7.
48. EICK, J. D.; WELCH, F. H. **Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity**. Quintessence Int., 1996. v. 17, n. 2, p. 103-11.
49. VERSLUIS, A.; TANTBROJN, D.; DOUGLAS, W. H. **Do dental composites always toward the light?** J. Dental Res., 1998. v. 7, n. 7, p. 1435-45.
50. DAVIDSON, C. L.; FEILZER, J. **Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives**. J. Dent., 1997. v. 25, n. 6, p. 435-40.
51. ALSTER, D. *et al.* **Polymerization contraction stress in thin resin composite layers as a function of layer thickness**. Dent Mater 1997. v. 1, n. 3, p. 146-50.
52. SALGADO JUNIOR, L. P. S. **Avaliação da contração de polimerização de uma resina composta fotopolimerizável de uso universal, variando-se a técnica de inserção do material, medida por picnômetro a gás**. 2004. 57 p. Dissertação (mestrado em Dentística) – Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Orientador: Michel Nicolau Youssef.

53. LEAL, F. R. **Microleakage in class V restoration using varying power densities and duration.** J. Dent. Res., 2000. v.79, p.535
54. DAVIDSON, C. L.; DE GEE, A. J.; FEILZER, J. A. **The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress.** J. Dent. Res., 1984. v. 63, n. 12, p. 1396-9.
55. KEMP-SCHOLTE, C. M.; DAVIDSON, C. L. **Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restoration.** J. Dent. Res., 1998. v. 67, n. 5, p. 841-5.
56. PRICE, R. B.; RIZKALLA, A. S.; HALL, G. C. **Effect Of Stepped Light Exposure On The Volumetric Polymerization Shrinkage And Bulk Modulus Of Dental Composites And An Unfilled Resin.** Am. J. Dent., 2000. n. 13, v. 4, p. 176-80.
57. AMORE, R. *et al* **Polymerization Shrinkage Evaluation Of Three Packable Composite Resins Using A Gas Pycnometer.** Pesqui. Odontol. Brás., 2003. v. 3, n. 17, p. 27-37.
58. FEILZER, A. J.; DE GEE, A. J.; DAVIDSON, C. L. **Setting stresses in composites for two different curing modes.** Dent. Mater., 1993. v. 9, n. 1, p. 2-5.
59. REUGGEBERG, F. A.; CAUGHMAN, W. F.; CURTIS, J. W. **Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite.** Oper Dent., 1994. v. 1, n. 9, p. 26-32.
60. UNTERBINK, G. L.; MEUSSNER, R. **Influence of light on two restorative systems.** J Dent., 1995. v. 2, n. 3, p. 183-9.

61. BROSH, T., GANOR, Y., BELOV, I., *et al.*, **Analysis of strength properties of light-cured resin composites**, *Dentl Mater.*, 2000. v. 15, p. 174-179.
62. FISBEIN, S. *et al.* **The Effect Of Vlc Scotchbonds And An Incremental Filing Technique On Leakage Around Class Ii Composite Restorations.** *J Dent Child*, 1988. Baltimore. v.55, n.1, p. 29-33.
63. LECLAIRE, C.C; *et al.* **Use Of A Two-Stage Composite Resin Fill To Reduce Microleakage Below The Cmentoenamel Junction.** *Oper Dent*, .1998. v. .13, n. 1, p. 20-23.
64. KOENIGSBERG, S.; FUKS, A.; GRAJOWER, R. **The Effect Of Three Filling Techniques On Marginal Leakage Around Class Ii Composite Resin Restorations In Vitro.** *Quintessence Int*, Carol Stream, 1989. v. 20, n. 2, p. 117-21.
65. NAGARAJAN V. S.; JAHANMIR S.; THOMPSON VAN P.; **In vitro contact wear of dental composites.** *Dent. Mater*, 2004. v. 20, p. 63-71.
66. LUTZ, F.; KREJCI, I.; OLDEBURG, T. R. **Elimination of polymerization stresses of margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique.** *Quintessence Int.*, 1996. v. 1, n. 7, p. 777-84.
67. CHEUNG, G. S. P. **Reducing marginal leakage of posterior composite resin restorations: a review of clinical techniques.** *J. Prosth. Dent.*, 1990. v. 63, n. 3, p. 286-8.
68. EAKLE, W. S.; ITO, R. K. **Effect of insertion technique on microleakage in mesio-occluso-distal composite resin restorations.** *Quintessece Int.*, 1990. v. 21, n. 5, p. 369-74.

69. CRIM, G. A. **Microleakage of three resin placement techniques**. Am J. Dent., 1991. v. 4, p. 69-72.
70. UNO, S.; AMUSSEN, E. **Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate**. Scand J Dent Res 1991. v. 9, n. 9, p. 440-4.
71. COLI, P. BRANNSTROM, M. **The marginal adaptation of four different bonding agents in class II composite resin restoration applied in two incremental**. Quintessence Int., 1993. v. 2, n. 4, p. 583-91.
72. TJAN, A. H. L.; KLOOSTER, J.; Tan, D. E. **Microleakage of class V composite restorations using various placement methods**. J. Dent. Res., 1995. v. 74, p. 494-98.
73. IDRIS, S. *et al.* **Marginal adaptation of class II resin composite restorations using incremental and bulk placement techniques: an ESEM study**. J. Oral Rehabil., 2003. v. 30, p. 1000-7.
74. LOPES G. C. *et al.* **Effect of posterior resin composite placement technique on the resin-dentin interface in vivo**. Quintessence Int., 2004. v. 3, n. 5, p. 156-61.
75. ISO International Standard. **Dentistry – Polymer-based fillin, restorative and litting materials – ISO 4049:2000(E)**.
76. ASTM International Standard. **Standard test Methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials – ASTM: D 790 – 03, 2004**.

77. HALVORSON, R. H.; ERICKSON, R. L.; DAVIDSON, C. L.; **The Effect of Filler and Silane Content on Conversion of Resin-Based Composite**; Dent. Mater., 2002. n. 19, p. 327-333.
78. KIM, S.; JANG, J.; **The measurement of Degree of Conversion for BIS-GMA/Silica Composites by FT-IR Spectroscopy**. Polymer Testing 1996. n. 15, p. 559-571.
79. MENDES, L. C.; *et al.*; **Determination of degree of conversion as a function of depth of a photo-initiated dental restoration-II application to commercial Surefil™**. Polymer Testing, 2005. n. 24, p. 942-946.
80. TURSSI, C. P.; FERRACANE, J. L.; VOGEL, K. **Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites**. Biomaterials, 2005. n. 26, p. 4932-4937.
81. MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. Editora Edgard Blücher, 1991. cap.2, p. 13-16.
82. QUINN, J. B. *et al.* **Fractographic analices of three ceramic whole crown restoration failures**. Dent Mat., 2005. n. 21, p. 920-929.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)